



حكومة إقليم كوردستان ـ العراق
وزارة التربية ـ المديرية العامة للمناهج والمطبوعات

العلـــوم للجميـــع

الفيزياء

كتاب الطالب - الصف الحادي عشر العلمي

الطبعة السادسة
٢٠١٥م / ٢٧١٥ كوردي / ١٤٣٦ هـ

الأشراف الفني على الطبع
عثمان پيرداود كواز
آمانج اسماعيل عبدي

رموزٌ بيانيَّةٌ

أُدرجتِ المعلوماتُ في الجدولِ التالي بحسبِ ترتيبِها في كتابِ الطالبِ للمرحلةِ الثانويَّةِ.

الميكانيكا

الرمز	الدلالة
	متَّجهُ الإزاحةِ مركَّبةُ الإزاحةِ
	متَّجهُ السرعةِ مركَّبةُ السرعةِ
	متَّجهُ التعجيلِ
	متَّجهُ القوّةِ مركَّبةُ القوّةِ
	متَّجهُ الزخمِ الخطِّيّ
	الزاوية
	اتِّجاهُ الدوران

الديناميكا الحراريَّةُ

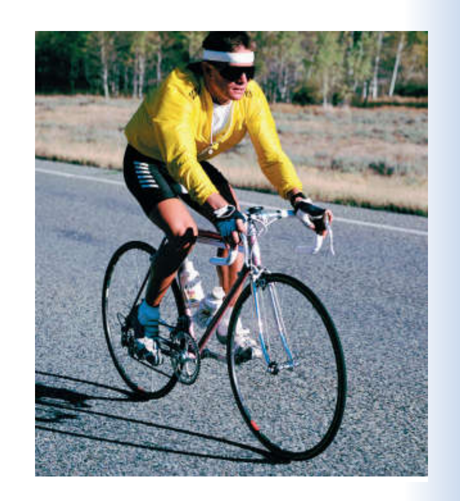
الرمز	الدلالة
	الطاقةُ المتحوِّلةُ إلى حرارةٍ
	الطاقةُ المتحوِّلةُ إلى شغلٍ
	الدورةُ أو العمليَّةُ

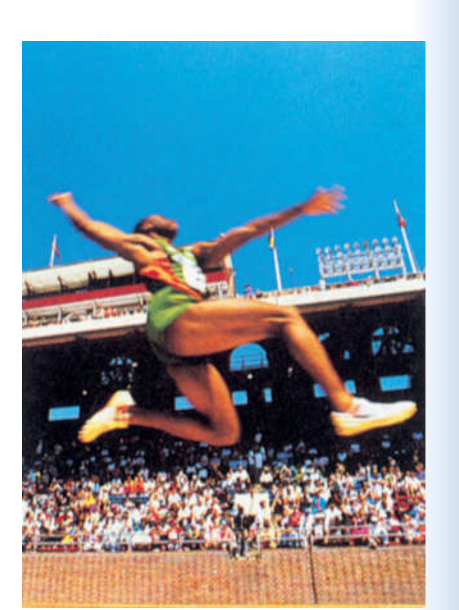
الموجاتُ والكهرومغناطيسيَّة

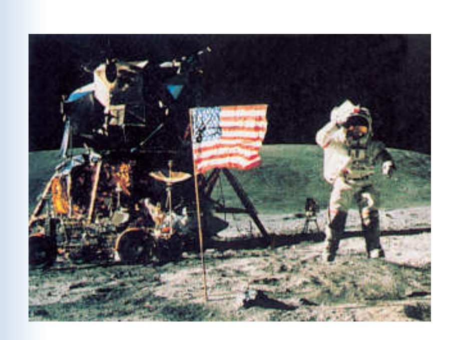
الرمز	الدلالة
	شعاع (ضوء أو صوت)
	الشحنةُ الموجبةُ
	الشحنةُ السالبةُ
	خطوطُ المجالِ الكهربائيِّ
	متَّجهُ المجالِ الكهربائيِّ
	التيّارُ الكهربائيُّ
	خطوطُ المجالِ المغناطيسيِّ
	متَّجهُ المجالِ المغناطيسيِّ إلى داخلِ الصفحةِ إلى خارجِ الصفحةِ

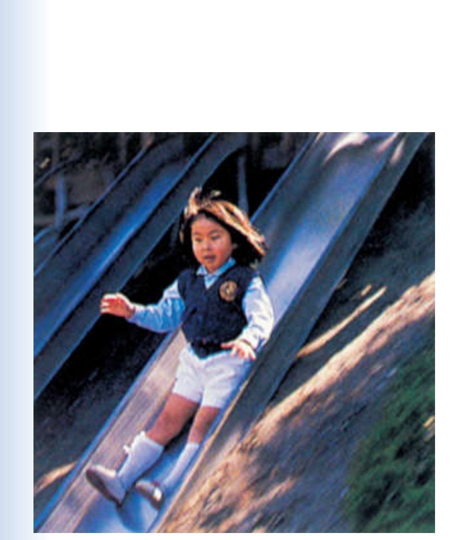


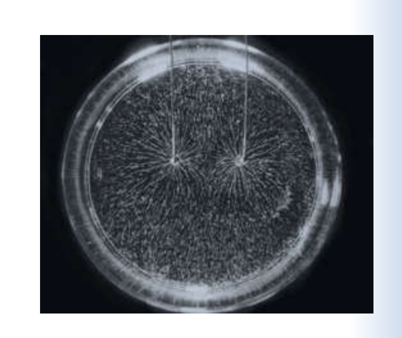
المحتويات

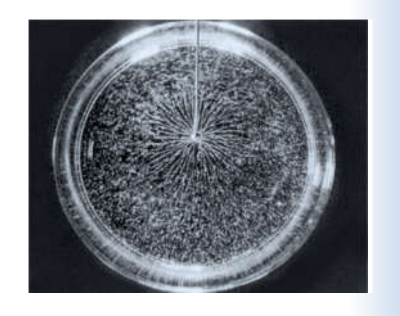








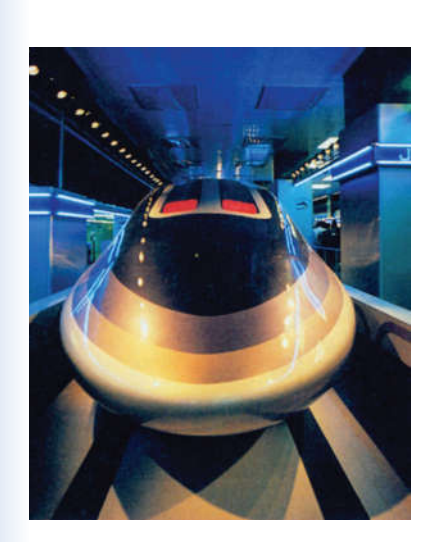








8 الدوائرُ الكهربائيَّةُ والمقاومات 244

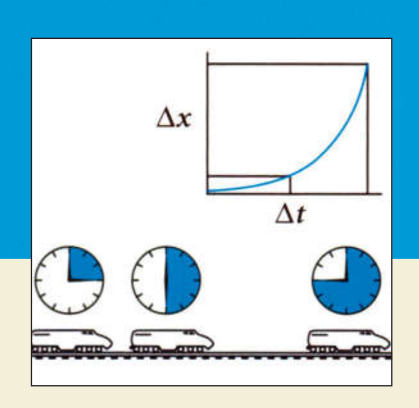


قسمُ الملاحق 278



الفصل 1

الحركةُ في بُعدٍ واحد
Motion in One Dimension



تُستعملُ قطاراتُ الركّابِ ذاتُ السرعةِ العالية، كالموجودةِ في الرسم، في الكثيرِ من دولِ العالمِ كاليابان وفرنسا وإنكلترا وألمانيا وكوريا الجنوبيَّة. تتراوحُ سرعةُ هذه القطاراتِ بين 200 km/h و 300 km/h. يعتبرُ القطارُ الذي يسيرُ في اتِّجاهٍ مستقيمٍ أحدَ أمثلةِ الحركةِ في بُعدٍ واحد. القطارُ الظاهرُ في الرسمِ يقطعُ مسافاتٍ متزايدةً في فتراتٍ زمنيَّةٍ متساوية، ومعنى ذلك أنَّه متسارع.

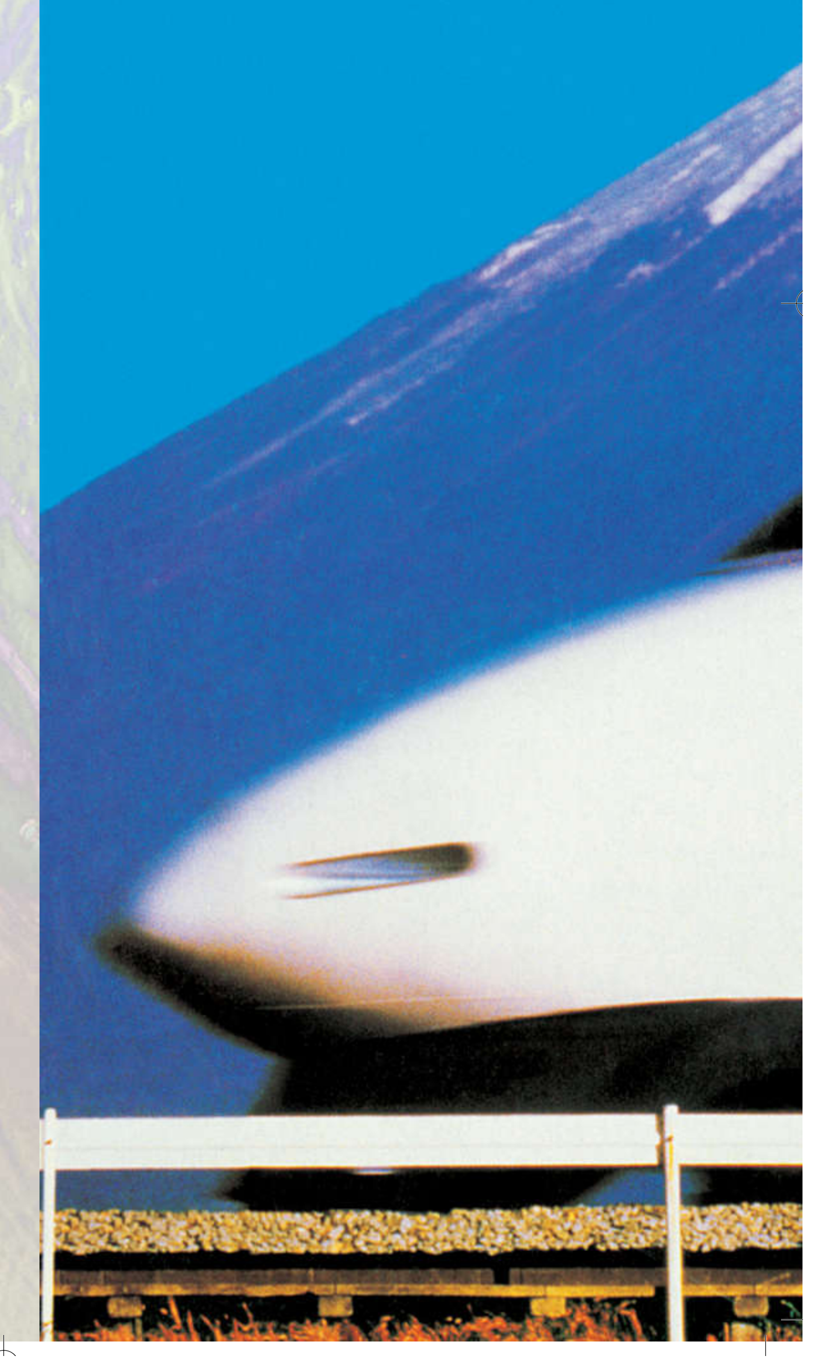
ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

سوف تتعلَّمُ في هذا الفصل تحليلَ الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ بدلالةِ الإزاحةِ والزمنِ والسرعةِ ومقدارِها. تتعلَّمُ أيضًا التمييزَ بين الحركةِ المتسارعةِ (المعجَّلة) والحركةِ غير المتسارعة.

ما أهميَّتُهُ

للسرعةِ والتعجيلِ علاقةٌ بنواحٍ متعدِّدةٍ من الحياةِ اليوميَّة، بدءًا من ركوبِ الدرّاجةِ إلى قيادةِ السيّارةِ أو السفرِ على متنِ قطارٍ سريع. سوف تساعدُك التعريفاتُ والعلاقاتُ التي تدرسُها في هذا الفصلِ على التنبّؤِ بمواصفاتِ هذه الأنواعِ من الحركة، وذلك بمعرفةِ الشروطِ الأوّليَّة.

محتوى الفصل 1



القسم 1-1

الإزاحةُ والسرعةُ

Displacment and Velocity

1-1 أهدافُ القسمِ

- يصفُ الحركةَ بدلالةِ المحاورِ المرجعيَّةِ والإزاحةِ والزمنِ والسرعة.
- يحسبُ إزاحةَ جسم يتحرَّكُ بسرعة معيَّنة، خلالَ فترةٍ زمنيةٍ محدَّدة.
- يرسُمُ ويفسِّرُ منحنياتِ (الإزاحة ـ الزمن).

الحركة

نرى الحركةَ من حولِنا بصورةٍ دائمة. يوميًّا نرى أجسامًا كالسياراتِ والناسِ وكرةِ القدمِ تتحرَّكُ في اتِّجاهاتٍ وسرعاتٍ مختلفة. وقد أصبحنا، مثلَ عالِمِ الفيزياءِ، متآلفينَ مع فكرةِ الحركة، ونبذلُ جهدًا خاصًّا في تحليلِها.

الحركةُ في بُعدٍ واحد

تعتبرُ دراسةُ أنواعِ الحركةِ في البُعدِ الواحدِ إحدى الطرائقِ المتَّبعةِ لتبسيطِ مفهومِ الحركة. من الأمثلةِ على ذلكَ حركةُ قطارِ ركّابٍ على مسارٍ مستقيم، كما يظهرُ في **الشكل 1-1**. في هذا النوعِ من الحركةِ يتحرَّك القطارُ على السكَّةِ إلى الأمامِ أو إلى الوراءِ فقط، وليسَ في اتِّجاهِ اليمينِ أو اليسارِ ولا إلى أعلى أو إلى أسفل. يعالِجُ هذا الفصلُ الحركةَ في بُعدٍ واحدٍ فقط. وستتاحُ لنا، في فصولٍ لاحقةٍ، دراسةُ حركاتٍ معقَّدةٍ من خلالِ تجزئتِها إلى حركاتٍ في بُعدٍ واحد.

المحاورُ المرجعيَّة

المحاورُ المرجعيَّة

نطاقُ إحداثياتٍ يحدِّدُ بدقّةٍ موقعَ الأجسامِ في الفضاء.

يبدو وصفُ حركةِ القطارِ بسيطًا. ففي البدايةِ ينطلقُ القطارُ الظاهرُ في **الشكل 1-1** من المحطةِ الأولى، ويكونُ فيما بعدُ عندَ محطةٍ أخرى على مسافةٍ معيَّنةٍ من الأولى.

ماذا عن كلِّ أنواعِ الحركةِ المحيطةِ بالقطار؟ الأرضُ تدورُ حولَ محورِها، وهذا معناهُ أنَّ القطارَ والمحطاتِ والسكّةَ جميعَها في حركةٍ حولَ محورِ الأرضِ، وفي الوقتِ نفسِه



الشكل 1-1

تُعتبرُ حركةُ قطارِ الركّابِ هذا على مسارِهِ مثالاً للحركةِ في بُعدٍ واحد. يتحرّكُ القطارُ إلى الأمامِ أو إلى الوراءِ فقط.

Δx

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90

x_i x_f

الشكل 1-2
تكونُ إزاحةُ أبو بريصٍ الذي يتحرَّكُ على محورِ x من x_i إلى x_f: $\Delta x = x_f - x_i$.

تتحرَّكُ الأرضُ حولَ الشمسِ التي تتحرَّكُ بدورِها مع المجموعةِ الشمسيةِ في مجرَّةِ دربِ التبّانة. وهذه المجرَّةُ تتحرَّكُ في الفضاءِ أيضًا.

الفيزيائيونَ، عندَ مواجهتِهِمْ لحركاتٍ معقَّدةٍ كهذه، يجزِّئونَ الحركةَ إلى أجزاءٍ بسيطةٍ يسهلُ درسُها، ويختارونَ، في خطوةٍ أولى، **محاورَ مرجعيَّةً** frame of reference مناسبة. في حالةِ القطارِ تشكِّلُ المحطّاتُ محورًا مرجعيًّا مناسبًا.

لا يتغيَّرُ، بالنسبةِ إلى محورٍ مرجعيٍّ معيَّن، موقعُ جسمٍ ساكن. مثلاً، إذا أخذْنا رصيفَ المحطَّةِ كمحورٍ مرجعيٍّ فإنَّ المقاعدَ على الرصيفِ تُعتبرُ ساكنة.

في الفيزياءِ يمكنُكَ اختيارُ المحورِ المرجعيِّ الذي يناسبُكَ، ما دمتَ منسجمًا في اختيارِكَ مع معطياتِ الحالة، ويؤدّي إلى النتيجةِ نفسِها مهما كانَ اختيارُكَ للمحورِ المرجعيِّ. هناكَ محاورُ مرجعيَّةٌ تساهمُ في تسهيلِ الأمورِ أكثرَ من غيرِها. فلنأخذْ مثلاً حركةَ أبو بريصٍ الظاهرةِ في **الشكل 1-2**. يستحسنُ هنا اختيارُ مسطرةٍ مرقَّمةٍ بـ (cm) وموضوعةٍ تحتَ أرجلِ الحيوانِ لتشكِّلَ محورًا مرجعيًّا مناسبًا ومحورَ (x) للحركة. تُستعملُ المسطرةُ عندئذٍ لتحديدِ موقعِ أبو بريصٍ الابتدائيِّ ثمَّ موقعِهِ النهائيّ.

الإزاحة

أقصرُ مسافةٍ متَّجهةٍ تتجه من نقطةِ بدايةِ الحركةِ إلى نهايتِها.

الإزاحة

عندَما ينتقلُ جسمٌ متحرِّكٌ من مكانٍ إلى آخرَ نطلقُ مصطلحَ الإزاحةِ على جزءٍ من الخطِّ المستقيمِ يصلُ نقطةَ بدايةِ الانتقالِ بنقطةِ النهاية.

الإزاحةُ هي تغيُّرٌ في الموقع

يتحرَّكُ أبو بريصٍ في **الشكل 1-2** على المحورِ x من اليسارِ إلى اليمينِ بدءًا من موقعٍ ابتدائيٍّ x_i إلى موقعٍ نهائيٍّ x_f، وتكونُ **إزاحةُ** displacement أبو بريصٍ فرقَ البعدِ بينَ الموقعَيْن، أي $x_f - x_i$. ومقدارُها في هذه الحالةِ $85\ cm - 24\ cm = 61\ cm$.

الإزاحة

$$\Delta x = x_f - x_i$$

الإزاحة = التغيّر في الموقع = الموقع النهائيّ − الموقع الابتدائيّ

ويرمزُ الحرفُ اليونانيُّ دلتا (Δ) قبلَ x إلى التغيُّرِ في موقعِ الجسم.

يظهرُ في **الشكل 1-3** أبو بريصٍ يتسلَّقُ ساقًا رأسيةً لشجرة، وقدِ استُعملَتْ مسطرةٌ مرقَّمةٌ بوضعٍ موازٍ للشجرةِ كمحورِ y. تشيرُ y_i و y_f على التوالي إلى موقعِ أبو بريصٍ الابتدائيِّ والنهائيّ. وتشيرُ Δy إلى إزاحتِه.

الفيزياءُ والحياة

1. مكّوكُ الفضاء

ينطلقُ مكّوكُ الفضاءِ من ولايةِ فلوريدا الأميركيةِ في شرقِ الولاياتِ المتَّحدة، ويدورُ حولَ الأرضِ عدَّةَ مرّات، ويحطُّ أخيرًا في ولايةِ كاليفورنيا في غربِ الولاياتِ المتَّحدة. خلالَ رحلةِ المكّوك، يذهبُ المصوِّرُ الفوتوغرافيُّ من فلوريدا إلى كاليفورنيا لتصويرِ روّادِ الفضاءِ عندَ مغادرتِهِم المكّوك. أيُّ إزاحةٍ أكبر: إزاحةُ المصورِ أم إزاحةُ روّادِ الفضاء؟

2. رحلةُ الذهابِ والعودة

ما الفرقُ بينَ إزاحةِ روّادِ الفضاءِ في ذهابِهِمْ من فلوريدا إلى كاليفورنيا وإزاحتِهِمْ في عودتِهِمْ من كاليفورنيا إلى فلوريدا؟

المسافة
الطولُ الكلّيُّ لمسارِ حركةِ الجسم.

الإزاحةُ غيرُ مساويةٍ دائمًا للمسافةِ المقطوعة

لا تساوي الإزاحةُ دائمًا المسافةَ التي قطعَها الجسمُ في حركتِه. فلنفرضْ، مثلاً، أن أبو بريص قد تسلَّقَ من موقعٍ ابتدائيٍّ 20 cm إلى موقعٍ آخرَ 80 cm ثم نزلَ إلى موقعٍ نهائيٍّ 50 cm، بذلك يكونُ قد قطعَ مسافةَ 90 cm، أما إزاحتُهُ فهيَ 30 cm فقط:

$$y_f - y_i = 50\text{ cm} - 20\text{ cm} = 30\text{ cm}$$

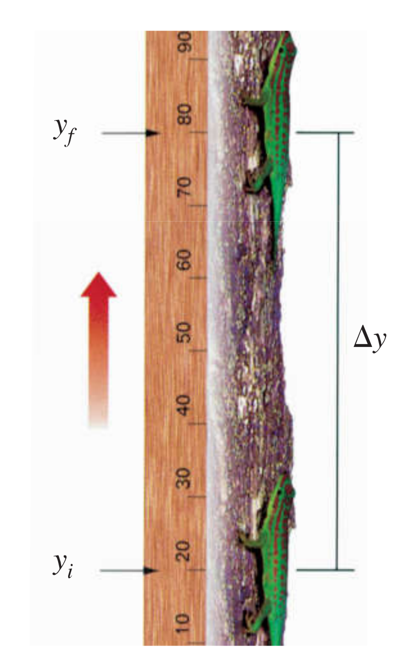
لنفترضْ أنَّ أبو بريص قد عادَ إلى نقطةِ البداية. عندئذٍ تصبحُ الإزاحةُ صفرًا لأنَّ موقِعَيْهِ الابتدائيَّ والنهائيَّ يقعانِ في نقطةٍ واحدة.

الإزاحةُ موجبةٌ أو سالبة

تتضمَّن الإزاحةُ أيضًا وصفًا لاتِّجاهِ الحركة. للحركةِ في بعدٍ واحدٍ اتِّجاهانِ فقط: موجِبٌ وسالب. الاصطلاحُ المتَّبعُ في هذا الكتابِ يعتمِدُ اتِّجاهَ اليمينِ موجبًا واتِّجاهَ اليسارِ سالبًا، ما لمْ يُذكرْ غيرُ ذلك. وكذلكَ نعتبرُ الاتِّجاهَ إلى أعلى موجِبًا والاتِّجاهَ إلى أسفلَ سالبًا. تظهرُ في **الجدولِ 1-1** أمثلةُ حسابٍ لإزاحاتٍ متنوِّعة.

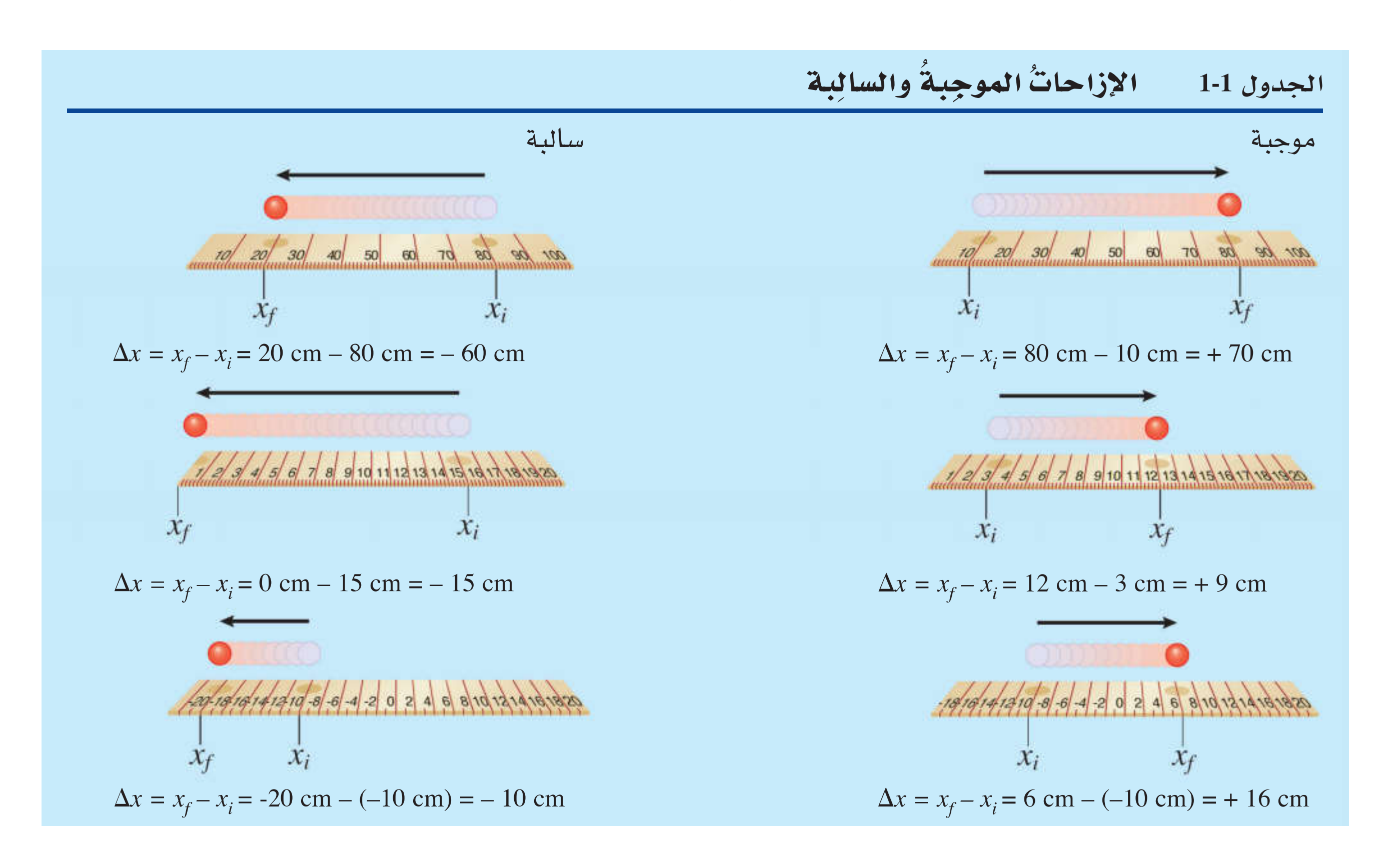
السرعة

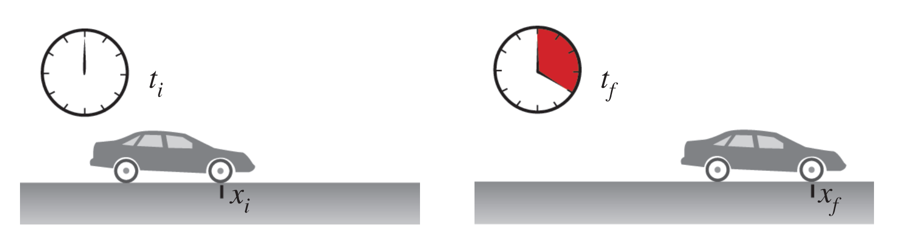
إنَّ معرفةَ نقطتَي الانطلاقِ والتوقفِ لجسمٍ متحرِّكٍ لا تكفي لوصفِ حركتِه. قد تتحرَّكُ الأرضُ من تحتِكَ مسافةَ 8.0 cm إلى اليسارِ مستغرقةً عامًا كاملاً نتيجةً لحركةِ ألواحِ قشرةِ الأرضِ التكتونيةِ البطيئة. ولو قدِّرَ لهذه الحركةِ أن تحدثَ خلالَ ثانيةٍ لشعرتَ بزلزالٍ أو انزلاقٍ أرضيّ. تشكِّلُ السرعةُ إذنْ معلومةً مهمَّةً لوصفِ الحركة.



الشكل 3-1
عندما يتسلَّقُ أبو بريص الشجرة، تُقاسُ إزاحتُهُ على المحور y. ويُحدَّدُ موقعُهُ على المحورِ بموقعِ النقطةِ نفسِها من جسمِه.

الجدول 1-1 الإزاحاتُ الموجِبة والسالِبة





الشكل 4-1
تبيِّنُ السرعةُ المتوسِّطةُ كم كانتِ السيارةُ سريعةً، وفي أيِّ اتجاهٍ كانتْ تتحرَّك.

السرعةُ المتوسِّطة

تسيرُ السيارةُ في **الشكل 4-1** في خطٍّ مستقيمٍ على طريقٍ عامّ (محور x). لنفترضْ أنَّ x_i و x_f يدلّانِ على التوالي على موقعِ السيارةِ في اللحظتينِ t_i و t_f، عندئذٍ إزاحةُ السيارةِ هي $\Delta x = x_f - x_i$ خلالَ الفترةِ الزمنية $\Delta t = t_f - t_i$.

السرعةُ المتوسِّطة
الإزاحةُ الكلِّيةُ المقطوعةُ مقسومةً على الفترةِ الزمنيةِ التي حدثَتْ فيها الإزاحة.

تُعرَّف **السرعةُ المتوسِّطةُ** (v_{avg}) average velocity على أنَّها حاصلُ قسمةِ الإزاحةِ على الفترةِ الزمنية. ووحدتُها في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI) هي مترٌ لكلِّ ثانية، ويُرمَزُ إليها بـ m/s.

السرعةُ المتوسِّطة

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

السرعةُ المتوسِّطة = **التغيُّرُ في الموقع** / **التغيُّرُ في الزمن** = **الإزاحةُ الكلّية** / **الفترةُ الزمنية**

يمكنُ للسرعةِ المتوسِّطةِ أن تكونَ سالبةً أو موجبةً تبعًا لإشارةِ الإزاحة (الفترةُ الزمنيةُ دائمًا موجبة). لنفترضْ أنكَ قدْتَ سيارتَكَ إلى منزلِ صديقٍ يبعدُ 370 km في الاتجاهِ السالبِ على طريقٍ عامٍّ مستقيم. إذا غادرتَ بيتَكَ عندَ الساعةِ العاشرةِ صباحًا ووصلتَ بيتَ صديقِكَ الساعةَ الثالثةَ بعدَ الظهر، يكونُ متوسِّطُ سرعتِكَ كالتالي:

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{-\ 370\ \text{km}}{5.0\ \text{h}} = -74\ \text{km/h}$$

قد لا تكونُ سرعتُكَ 74 km/h في كلِّ لحظةٍ من رحلتِك. قد تتوقفُ لملءِ خزّانِ الوقودِ أو تناولِ الغداءِ، أو قد تتباطأُ بسببِ زحمةِ السير. وللتعويضِ عن التأخيرِ الناتجِ عن سيرِ السيارةِ بسرعةٍ دونَ 74 km/h يجبُ أن تتجاوزَ هذه السرعةَ في أوقاتٍ أخرى. السرعةُ المتوسِّطةُ تساوي السرعةَ الثابتةَ اللازمةَ لقطعِ الإزاحةِ نفسِها ضمنَ الفترةِ الزمنيةِ نفسِها. هذا يعني أنكَ، في المثالِ أعلاهُ، لو انطلقتَ من بيتِكَ بسرعةٍ ثابتةٍ تساوي 74 km/h في الاتِّجاهِ السالبِ لاحتجتَ إلى خمسِ ساعاتٍ لقطعِ مسافةِ 370 km.

هل تعلم؟

أنَّ فرعَ علمِ الفيزياءِ الذي يشملُ دراسةَ الحركةِ يعرفُ بالديناميكا، بينما يُسمّى قسمُ الديناميكا الذي يدرسُ الحركةَ دونَ التطرُّقِ إلى أسبابِها: الكاينماتيكا.

مثال 1 (أ)

السرعةُ المتوسّطةُ والإزاحة

المسألة

يعدو سردار، خلالَ سباقِ العَدْوِ، بسرعةٍ متوسّطةٍ تساوي 6.02 m/s باتِّجاهِ الشرقِ. احسبْ إزاحةَ سردار خلالَ زمنٍ قدرُهُ 137 s.

الحل

المعطى: $v_{avg} = 6.02 \text{ m/s}$

$\Delta t = 137\text{s}$

المجهول: $\Delta x = ?$

أستعملُ معادلةَ السرعةِ المتوسّطةِ لحسابِ الإزاحة:

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\Delta x = v_{avg}\,\Delta t$$

$$\Delta x = v_{avg}\,\Delta t = (6.02 \text{ m/s})(137\text{s}) = 824.7 \text{ m} \approx \boxed{825 \text{ m في اتجاهِ الشرق}}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

جوابُ الآلةِ الحاسبةِ هو 824.74 m، لكنَّ عددَ الأرقامِ المعنويةِ للسرعةِ والزمنِ هو ثلاثة، لذلكَ يدوّرُ جوابُ الإزاحةِ ليصبحَ 825 m.

تطبيق 1 (أ)

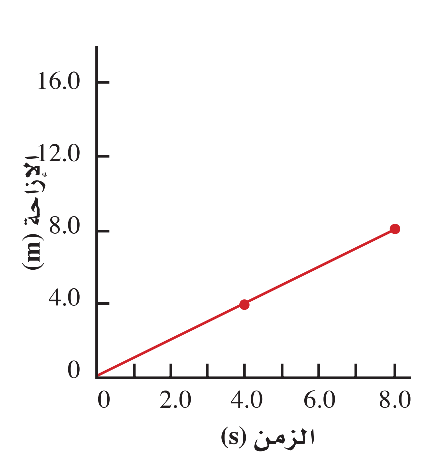
السرعةُ المتوسّطةُ والإزاحة

1. مشى هيوا من بيتِهِ بسرعةِ 0.98 m/s باتجاهِ الشرقِ مدَّةَ 34 min حتى وصلَ إلى المدرسة. كم مترًا تبعدُ المدرسة عن بيتِهِ؟
2. يركبُ هوكر درّاجتَهُ باتجاهِ الجنوبِ على خطٍّ مستقيمٍ مدةَ 15 min بسرعةٍ متوسّطةٍ قدرُها 12.5 km/h، ما إزاحتُهُ؟
3. يلزمُكَ 9.5 min لقطعِ المسافةِ من مدخلِ المتحفِ إلى محطةِ الحافلات، وأنتَ تسيرُ بسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 1.2 m/s باتِّجاهِ الشمال. كم تبلغُ إزاحتُكَ؟
4. يقودُ أرام سيّارتَهُ بسرعةٍ متوسِّطةٍ تبلغُ 48.0 km/h باتِّجاهِ الشرق. كم يلزمُهُ من الزمنِ لقطعِ مسافةِ 144 km على طريقٍ عامٍّ مستقيم؟
5. كم يوفِّر أرام، في السؤالِ 4، من الوقتِ إن هو زادَ سرعتَهُ المتوسِّطةَ إلى 56.0 km/h باتِّجاهِ الشرق؟
6. تسيرُ حافلةٌ مسافةَ 280 km على طريقٍ مستقيمٍ بسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 88 km/h في اتِّجاهِ الجنوب. تتوقَّفُ الحافلةُ 24 min، ثم تتابعُ سيرَها مسافةَ 210 km بسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 75 km/h في اتِّجاهِ الجنوب.
   أ. كم من الزمنِ استغرقَتِ الرحلةُ بأكملِها؟
   ب. ما السرعةُ المتوسِّطةُ لكاملِ الرحلة؟

السرعةُ في علم الفيزياء

من الشائع، في لغتِنا اليومية، استعمالُ كلمةِ «سرعة» لوصفِ حركةِ جسمٍ معيَّن، فنقولُ مثلاً: إنَّ السيّارةَ تسيرُ بسرعةِ 60 km/h دونَ تحديدِ اتِّجاهِ حركةِ السيارة. لا يتَّفقُ هذا مع مفهومِ السرعةِ في علمِ الفيزياءِ الذي يتضمَّنُ، إلى جانبِ المقدارِ 60 km/h، اتِّجاهَ الحركة. فتصبحُ سرعةُ السيّارةِ مثلاً 60 km/h في اتجاهِ الشرق. فالسرعةُ في علمِ الفيزياءِ كمِّيّةٌ اتِّجاهيَّةٌ وجبريَّةٌ (عددية)، ذاتُ إشارةٍ موجبةٍ أو سالبةٍ في حالةِ الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ، لأنها تعتمدُ على الإزاحةِ والزمن، بينما مقدارَ السرعةِ كمّيةٌ عدديةٌ تعتمدُ على المسافةِ والزمنِ وفقَ المعادلةِ التالية:

$$\text{مقدارُ السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}}$$



الشكل 1-5
تتمثَّلُ حركةُ جسمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ بخطٍّ مستقيمٍ في منحنى (الإزاحة – الزمن) البيانيّ. يشيرُ ميلُ هذا المستقيمِ إلى مقدارِ السرعةِ المتوسِّطة.

حسابُ السرعةِ من منحنى (الإزاحة - الزمن)

يمكنُ حسابُ سرعةِ جسمٍ معيَّنٍ من خلالِ معرفةِ موقعِهِ في أوقاتٍ معيَّنةٍ انطلاقًا من نقطةِ الأصلِ عندَ اللحظةِ $t = 0.0$ s.

ويدلُّ الرسمُ البيانيُّ في **الشكل 1-5** على إحدى الوسائلِ المتَّبعةِ لحسابِ السرعة، إذ يمثِّلُ المحورُ الأفقيُّ متغيِّرَ الزمنِ والمحورُ الرأسيُّ متغيِّرَ الإزاحة. يتحرَّكُ الجسمُ 4.0 m في الفترةِ الزمنيةِ بينَ اللحظتَيْن $t = 0.0$ s و $t = 4.0$ s، و 4.0 m كذلكَ في الفترةِ الزمنيةِ اللاحقةِ أي بينَ $t = 4.0$ s و $t = 8.0$ s. بذلكَ تكونُ السرعةُ المتوسِّطةُ في كلٍّ من هاتَيْنِ الفترتَيْنِ 1.0 m/s ($v_{avg} = \Delta x/\Delta t = 4.0\ \text{m}/4.0\ \text{s}$)، وكذلك في أيِّ فترةٍ أخرى. بما أنَّ السرعةَ المتوسِّطةَ للجسمِ لم تتغيَّرْ، فحركتُهُ إذنْ متمثّلةٌ بالخطِّ المستقيمِ الظاهرِ في منحنى (الإزاحة - الزمن) البيانيّ.

نستطيعُ تحديدَ السرعةِ المتوسِّطةِ مستعملينَ منحنى (الإزاحة - الزمن) البيانيَّ برسمِ خطٍّ مستقيمٍ بينَ نقطتَيْنِ على الرسم. يشيرُ **مَيْلُ المستقيم** slope إلى مقدارِ السرعةِ المتوسِّطةِ بين النقطتَيْن. ولفهمٍ أفضلَ نقارنُ مَيْلَ الخطِّ المستقيمِ مع معادلةِ السرعةِ المتوسِّطة:

ميلُ المستقيم

مقدارُ انحناءِ الخطِّ المستقيمِ بالنسبةِ إلى المحورِ الأفقيِّ من الإحداثيات.

$$\textbf{ميل المستقيم} = \frac{\text{التغير في الإحداثياتِ الرأسية}}{\text{التغير في الإحداثياتِ الأفقية}}$$

$$\textbf{السرعة المتوسِّطة} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{avg}$$

الفيزياءُ والحياة

1. كتابٌ على طاولة

أُزيحَ كتابٌ على طولِ الحافةِ الخارجيةِ لسطحِ طاولةٍ بُعداهُ 1.75 m x 2.25 m. ما إزاحةُ الكتابِ إذا أُعيدَ إلى موقعِهِ الابتدائيّ؟ ما السرعةُ المتوسِّطةُ في حالِ استغرقَتِ الحركةُ 23 s؟

2. سَفَر

تسيرُ السيّارةُ A بسرعةِ 25 m/s من السليمانيةِ إلى دهوك. أما السيارةُ B فتسيرُ من السليمانيةِ إلى أربيل بسرعةِ 25 m/s أيضًا. هل سرعتا A و B متساويتان؟ اشرحْ.

الجسم 1

الجسم 2

الجسم 3

الإزاحة

الزمن

الشكل 6-1

تبيِّنُ منحنياتُ (الإزاحة – الزمن) أنَّ الجسمَ 1 يتحرَّكُ بسرعةٍ موجبةٍ ثابتةٍ، وأنَّ الجسمَ 2 في حالةِ سكونٍ، في حينِ أنَّ الجسمَ 3 يتحرَّكُ بسرعةٍ سالبةٍ ثابتةٍ.

يُظهِرُ **الشكلُ 6-1** ثلاثةَ خطوطٍ مستقيمةٍ تمثِّلُ رسومَ (الإزاحةِ - الزمنِ) البيانيةَ لثلاثةِ أجسامٍ مختلفةٍ. سرعةُ الجسمِ الأولِ موجبةٌ وثابتةٌ، لأنَّ إحداثيَّ الإزاحةِ يزدادُ بانتظامٍ مع مرورِ الزمنِ.

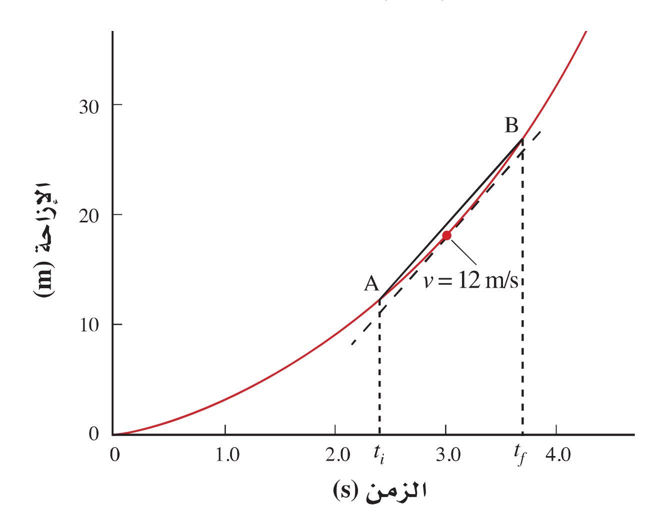
سرعةُ الجسمِ الثاني صفر (الجسمُ في حالةِ سكونٍ)، لأنَّ موقعَهُ يبقى ثابتًا معَ مرورِ الزمنِ. أما سرعةُ الجسمِ الثالثِ فسالبةٌ وثابتةٌ، لأنَّ إحداثيَّ الإزاحةِ يتناقصُ بانتظامٍ مع الزمنِ.

السرعةُ اللحظيةُ (الآنيةُ)

يتبيَّنُ من **الشكل 7-1** أنَّ منحنى (الإزاحةِ - الزمنِ) البيانيَّ لجسمٍ معيَّنٍ هو منحنًى وليسَ خطًّا مستقيمًا. نلاحظُ أنَّ إزاحةَ الجسمِ تزدادُ بعدَ مرورِ كلِّ ثانيةٍ، مما يؤدّي إلى زيادةٍ في السرعةِ.

فإزاحةُ الجسمِ، مثلاً، هي 8.0 m بين اللحظتَيْنِ $t = 0.0$ s و $t = 2.0$ s وسرعتُه المتوسِّطةُ 4.0 m/s خلالَ هذهِ الفترةِ ($v_{avg} = \Delta x/\Delta t = 8.0$ m/2.0 s)، لكنَّ إزاحتَهُ في الفترةِ الزمنيةِ $t = 0.0$ s و $t = 4.0$ s هي 32 m بسرعةٍ متوسِّطةٍ تساوي: 8 m/s (32 m/4 s = 8 m/s)، نحصُلُ بالتالي على سرعاتٍ متوسِّطةٍ مختلفةٍ بحسبِ الفتراتِ الزمنيةِ المختارةِ. لكنْ كيفَ يمكنُنا حسابُ السرعةِ في لحظةٍ زمنيةٍ معيَّنةٍ؟

لدراسةِ السرعةِ في لحظةٍ محدَّدةٍ، مثلاً $t = 3.0$ s، ندرُسُ الحركةَ في فترةٍ زمنيَّةٍ قصيرةٍ حولَ اللحظةِ $t = 3.0$ s. فكلّما قَصُرَتِ الفترةُ الزمنيةُ $t_f - t_i$ بين النقطتَيْنِ A و B في **الشكل 7-1** تقتربُ السرعةُ المتوسِّطةُ من السرعةِ في تلكَ اللحظةِ، وتسمّى عندَها **السرعةَ اللحظيةَ** instantaneous velocity. في إحدى طرائقِ تحديدِ السرعةِ اللحظيةِ يتمُّ رسمُ خطٍّ مستقيمٍ يلامسُ منحنى (الإزاحةِ - الزمنِ) في تلكَ اللحظةِ. يكونُ ميلُ المماسِّ مساويًا للسرعةِ اللحظيةِ عندَ تلكَ النقطةِ. مثالاً على ذلكَ، يبيِّنُ **الشكلُ 7-1** أنَّ مقدارَ سرعةِ الجسمِ اللحظيةَ عندَ اللحظةِ $t = 3.0$ s يساوي 12 m/s. كذلك يبيِّنُ **الجدولُ 2-1** في لَحَظاتٍ مختلفةٍ السرعةَ اللحظيةَ للجسمِ الذي يصفُ حركتَهُ **الشكلُ 7-1**. باستطاعتِكَ مقارنةُ وتعليلُ مقاديرِ السرعاتِ الواردةِ في الجدولِ مع المقاديرِ المحسوبةِ من خلالِ قياسٍ دقيقٍ لميلِ خطِّ المماسِّ للمنحنى.



الشكل 7-1

يمكنُ تحديدُ السرعةِ اللحظيةِ في لحظةٍ معيَّنةٍ بقياسِ ميلِ المماسِّ للمنحنى عندَ تلكَ النقطةِ.

السرعةُ اللحظيةُ (الآنيَّةُ)

سرعةُ الجسمِ في لحظةٍ معيَّنةٍ (أو عندَ نقطةٍ محدَّدةٍ في مسارِه)

هل تعلم؟

أنَّ عدّادَ السرعةِ في السيّارةِ يدلُّ على مقدارِ السرعةِ اللحظيةِ ولا يدلُّ على الاتّجاه.

الجدول 2-1

بياناتُ (السرعة - الزمن)

t (s)	v (m/s)
0.0	0.0
1.0	4.0
2.0	8.0
3.0	12.0
4.0	16.0

مراجعةُ القسم 1-1

1. ما أقصرُ مدةٍ زمنيةٍ ممكنةٍ لكي تنتقلَ بكتيريا بسرعةٍ 3.5 mm/s من نقطةٍ على حافةِ وعاءٍ مستديرٍ قطرُهُ 8.4 cm إلى النقطةِ المقابلة؟

2. يدفعُ طفلٌ عربةً بسرعةِ 1.5 m/s. كمْ يستغرقُ دفعُهُ العربةَ لتقطعَ مسافةَ 9.3 m؟

3. يسبحُ رياضيٌّ من الطرفِ الشماليِّ لحوضِ سباحةٍ طولُهُ 50.0 m إلى الطرفِ الجنوبيِّ خلالَ 20.0 s ثم يعودُ إلى نقطةِ البدايةِ خلالَ 22.0 s .

أ. ما السرعةُ المتوسِّطةُ لرحلةِ الذهاب؟

ب. ما السرعةُ المتوسِّطةُ لرحلةِ الإياب؟

ج. ما السرعةُ المتوسِّطةُ لكاملِ الرحلة؟

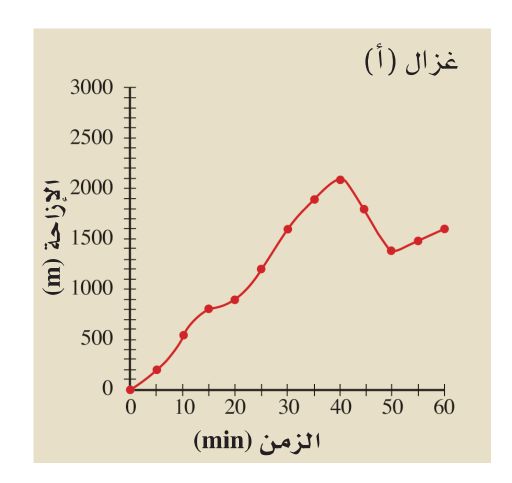
4. يسيرُ متعلِّمانِ في اتِّجاهٍ واحدٍ على ممرٍّ مستقيم، الأوَّلُ بسرعةِ 0.90 m/s والثاني بسرعةِ 1.90 m/s.

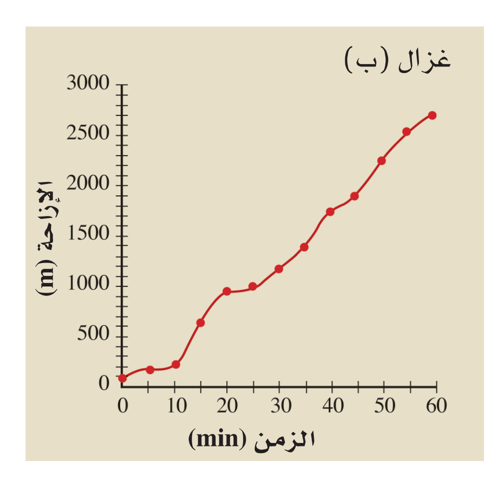
أ. لنفترضْ أنهما انطلقا من النقطةِ نفسِها وفي اللحظةِ نفسِها، ما المدةُ الزمنيةُ الفاصلةُ بينَ لحظتَيْ وصولِ المتعلِّمَيْنِ إلى نهايةِ الممرِّ البالغِ طولُهُ 780 m؟

ب. كم يجبُ أن يكونَ طولُ الممرِّ ليقطعَهُ المتعلِّمُ الأسرعُ قبلَ المتعلِّمِ الأبطأِ بـ 5.50 min؟

5. **تفكيرٌ ناقد** هل تكفي معرفةُ المسافةِ بينَ جسمَيْنِ لتحديدِ موقعِ كلٍّ منهما؟ اشرحْ.

6. **تفسيرُ البيانات** يُظهرُ **الشكلُ 1-8** اللاحقُ منحنيَي (الإزاحةِ - الزمن) لحركةِ غزالَيْنِ (أ) و (ب) في محميَّةٍ بريَّة. أيُّهما يتحرَّكُ بسرعةٍ متوسِّطةٍ أكبرَ خلالَ الفترةِ كلِّها؟ أيُّهما أسرعُ في اللحظةِ $t = 8.0$ min؟ هل سرعةُ (أ) دائمًا موجبة؟ هل يمكنُ لسرعةِ (ب) أن تكونَ سالبة؟





الشكل 1-8

القسم 2-1

التعجيل
Acceleration

2-1 أهدافُ القسم

- يصفُ الحركةَ بدلالةِ السرعةِ المتغيِّرة.
- يقارنُ الرسومَ البيانيةَ للحركاتِ المتسارعةِ وغيرِ المتسارعة.
- يطبِّقُ معادلاتِ الحركةِ المستقيمة الخطِّية لحسابِ الإزاحةِ والزمنِ والسرعةِ في حالةِ التعجيلِ الثابت.

التغيّراتُ في السرعةِ

تصلُ سرعةُ القطارِ السريعِ إلى حوالي 270 km/h. وبما أنه يتوقَّف مرارًا ليحمِّل أو يفرغَ من حمولتِهِ، مثلاً، فإن سرعتَهُ في حدِّها الأقصى لا تستمرُّ إلا وقتًا قصيرًا. فسرعتُهُ في معظمِ الأحيانِ في تغيُّرٍ دائمٍ، تزدادُ حينَ الانطلاقِ وتتناقصُ حينَ التوقُّف.

يقيسُ التعجيلُ معدَّلَ تغيُّراتِ السرعة

يضغطُ السائقُ مكابحَ الحافلةِ حينَ يقتربُ من المحطَّة، تتباطأُ الحافلةُ إلى أن تتوقَّفَ كليًّا خلالَ 5.0 s. تتناقصُ سرعتُها، مثلاً، من 9.0 m/s إلى 0.0 m/s. لكنها قد تتوقَّفُ أحيانًا خلالَ مدَّةٍ زمنيةٍ أقلَّ تبعًا للظروفِ، إذ قد تتباطأُ لكي يتجنَّبَ صدْمَ أحدِ المشاةِ، فتتغيَّرُ سرعتُهُ من 9.0 m/s إلى 0.0 m/s خلالَ 1.5 s.

من الواضحِ، بالرغمِ من تشابهِ حركتَي التباطؤِ في الحالتَيْن، أنَّ التوقُّفَيْنِ قد اختلفا. والاختلافُ يكمُنُ في مدَّةِ التباطؤِ أي وقتَ تغيُّرِ السرعة. نلاحظُ بالتالي أهمِّيةَ عاملِ الوقتِ في وصفِ حركةِ الحافلةِ وسلامةِ الركّابِ وراحتِهم، فالإحساسُ بالتغيُّرِ المفاجئِ في السرعةِ يختلفُ عنهُ نتيجةَ التغيُّرِ التدريجيّ. يُعرَّفُ **التعجيلُ** acceleration بأنه معدَّلُ التغيُّرِ في السرعةِ خلالَ فترةٍ زمنيَّةٍ معيَّنة.

التعجيل

معدَّلُ تغيُّرِ السرعةِ خلالَ فترةٍ زمنيةٍ معيَّنة.

متوسِّطُ التعجيل

$$a_{avg} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

متوسِّطُ التعجيل = **التغيُّرُ في السرعة** / **التغيُّرُ في الزمن**

وحدةُ التعجيلِ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI) هي مترٌ مقسومًا على مربَّعِ الثانيةِ، كما يظهرُ في المعادلةِ التالية:

$$\frac{(\text{m/s})}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \frac{1}{\text{s}} = \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

مثال 1 (ب)

متوسِّطُ التعجيل

المسألة

تتناقصُ سرعةُ حافلةٍ إلى أن تقفَ بمتوسِّطِ تعجيلٍ مقدارُه $1.8\ m/s^2$. كم يلزمُ ذلكَ من الزمنِ إذا كانتْ سرعتُها الابتدائيةُ $9.0\ m/s$؟

الحــل

المعطى: $v_i = 9.0\ m/s$ $\quad v_f = 0.0\ m/s$

$a_{avg} = -1.8\ m/s^2$

المجهول: $\Delta t = ?$

أُطبِّقُ معادلةَ متوسِّطِ التعجيل:

$$a_{avg} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta v}{a_{avg}}$$

$$\Delta v = v_f - v_i = 0.0\ m/s - 9.0\ m/s = -9.0\ m/s$$

$$\Delta t = \frac{-9.0\ m/s}{-1.8\ m/s^2}$$

$$\boxed{\Delta t = 5.0\ s}$$

تطبيق 1 (ب)

متوسِّطُ التعجيل

1. تتجنَّبُ حافلةٌ صدمَ كلبٍ فتتوقَّفُ فجأةً بتعجيلٍ مقدارُه $-4.1\ m/s^2$ فتنخفضُ سرعتُها من $9.0\ m/s$ إلى $0.0\ m/s$. ما الزمنُ اللازمُ لتوقُّفِ الحافلة؟

2. تتسارعُ سيّارةٌ بمعدَّلِ $2.5\ m/s^2$. كم يلزمُها من الزمنِ لتزدادَ سرعتُها من $7.0\ m/s$ إلى $12.0\ m/s$؟

3. تنخفضُ سرعةُ درّاجٍ من $6.5\ m/s$ الى $0.0\ m/s$ بتعجيلٍ مقدارُه $-1.2\ m/s^2$. كم يلزمُ ذلكَ من الزمن؟

4. تغيَّرت سرعةُ درّاجة من $-1.2\ m/s$ إلى $-6.5\ m/s$ خلال $25\ min$، ما تعجيلُها؟

5. افترضْ أنَّ مقدارَ تعجيلِ الدرّاجةِ في السؤال 4 هو $4.7 \times 10^{-3}\ m/s^2$.

أ. ما مقدارُ تغيُّرِ سرعةِ الدرّاجةِ خلالَ $5.0\ min$؟

ب. ما السرعةُ النهائيةُ للدرّاجةِ إذا كانَتْ سرعتُها الابتدائيةُ $1.7\ m/s$؟

التعجيلُ مقدارًا واتِّجاهًا

يُظهرُ **الشكلُ 9-1** قطارًا ينطلقُ من محطَّة. لنفترضْ أنَّ القطارَ تحرَّكَ باتِّجاهِ اليمين، أي إنَّ الإزاحةَ والسرعةَ موجبتان. عندما تزدادُ سرعةُ القطارِ بعدَ الانطلاقِ يصبحُ الفرقُ في السرعةِ Δv كمِّيةً موجبةً وكذلكَ التعجيل.

خلالَ رحلاتٍ طويلةٍ وبلا توقُّفٍ، يسيرُ القطارُ بسرعةٍ ثابتةٍ لمدَّةٍ طويلة. في هذه الحالةِ، لا تتغيَّرُ السرعةُ ($\Delta v = 0$ m/s)، ويكونُ التعجيلُ صفرًا. تصوَّرْ أنَّ القطارَ، خلالَ تحرُّكِهِ في الاتِّجاهِ الموجب، قد تباطأَ عندَ اقترابِهِ من المحطَّةِ التالية. عندَها تبقى السرعةُ موجبةً لكنَّ التعجيلَ يصيرُ سالبًا، لأنَّ السرعةَ النهائيةَ أقلُّ مقدارًا من السرعةِ الابتدائية. وهذا يعني أنَّ Δv سالبة.



الشكل 9-1

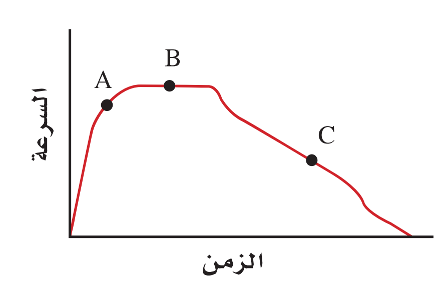
قطاراتٌ سريعةٌ كهذهِ قد تصلُ سرعتُها إلى 300 km/h.

وصفُ حركةِ الجسم

كما هي الحالُ مع كلِّ منحنياتِ الحركةِ، يسمحُ مَيْلُ منحنى (السرعةِ – الزمن) وشكلُهُ بتحليلٍ تفصيليٍّ لحركةِ القطار (**الشكل 10-1**). فعندَما ينطلقُ القطارُ من المحطَّةِ تزدادُ سرعتُه. تمثَّل هذه الحركةُ بالخطِّ الذي يميلُ صعودًا كلّما اتَّجهنا إلى اليمينِ (النقطة A على المنحنى).

لكن عندَما يسيرُ القطارُ بسرعةٍ ثابتةٍ فهذا الخطُّ يستمرُّ في اتِّجاهِ اليمينِ، ولكنْ بميلٍ يساوي صفرًا (النقطة B على المنحنى). أخيرًا، ومع اقترابِ القطارِ منَ المحطَّةِ، تتناقصُ السرعةُ ويميلُ الخطُّ الذي يمثِّلُ الحركةَ نزولاً كلما اتَّجهنا إلى اليمين (النقطة C على المنحنى). يمثِّلُ انحناءُ الخطِّ إلى أسفلَ تناقصَ السرعةِ مع مرورِ الزمن.

إنَّ قيمةً سالبةً للتعجيلِ لا تعني دائمًا حالةَ تباطؤ. فحركةُ قطارٍ في الاتِّجاهِ السالبِ، مثلاً، تؤدّي إلى تعجيلٍ سالبٍ عندَ ازديادِ سرعةِ القطارِ، وإلى تعجيلٍ موجبٍ عندَ تباطؤِ سرعةِ القطارِ لدى وصولِهِ إلى المحطَّة.



الشكل 10-1

عندَ النقطةِ A تزدادُ السرعةُ الموجبةُ فيكونُ التعجيلُ موجبًا. عندَ النقطةِ B السرعةُ ثابتةٌ والتعجيلُ صفر. عندَ النقطةِ C تتناقصُ السرعةُ الموجبةُ ويكونُ التعجيلُ سالبًا.

الفيزياءُ والحياة

1. كرةٌ طائرة

إذا كانتْ سرعةُ الكرةِ الطائرةِ صفرًا في لحظةٍ معيَّنةٍ، فهل يعني هذا بالضرورةِ أنَّ تعجيلَها صفر؟ اشرحْ وأعطِ أمثلة.

2. قطارٌ متراجع

يسيرُ قطارُ ركّابٍ على السكَّةِ بسرعةٍ سالبةٍ وبتعجيلٍ موجب. فهل سرعةُ القطارِ في ازديادٍ أم في تناقص؟

3. سيارةٌ متحرِّكةٌ حركةً متسارعة

يُخفضُ بختيار سرعةَ سيّارتِهِ عندَ اقترابِهِ من عائق. وضِّحْ كيفَ يكونُ تعجيلُ السيّارةِ موجبًا مع أنَّ سرعتَها سالبة.



يُظهرُ **الجدولُ 1-3** كيفَ تتشاركُ إشاراتُ السرعةِ والتعجيلِ في وصفِ حركةِ جسمٍ معيَّن. تلاحظُ أنَّ التعجيلَ السالبَ قد يصفُ حركةَ الجسمِ في حالةِ ازديادِ السرعةِ (السرعةُ هنا سالبة) وحركةَ الجسمِ في حالةِ التباطؤِ (السرعةُ هنا موجبة). استعملْ هذا الجدولَ للتأكُّدِ من صحَّةِ الأجوبةِ عن المسائلِ المتعلِّقةِ بالتعجيل.

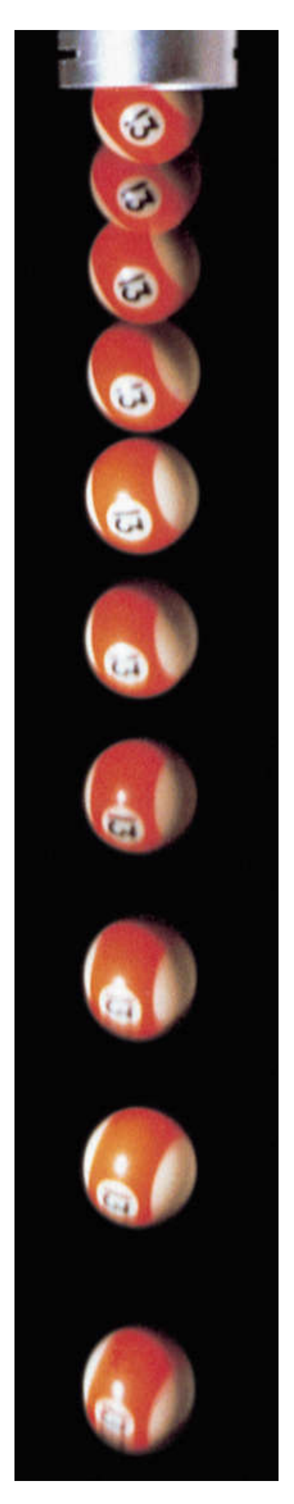
الجدول 1-3 السرعةُ والتعجيل

v_i	a	الحركة
+	+	تسارع
–	–	تسارع
+	–	تباطؤ
–	+	تباطؤ
+ أو –	صفر	سرعةٌ ثابتة (التعجيل = صفرًا)
صفر	+ أو –	تسارعٌ بدءًا من حالةِ سكون
صفر	صفر	البقاءُ في حالةِ سكون

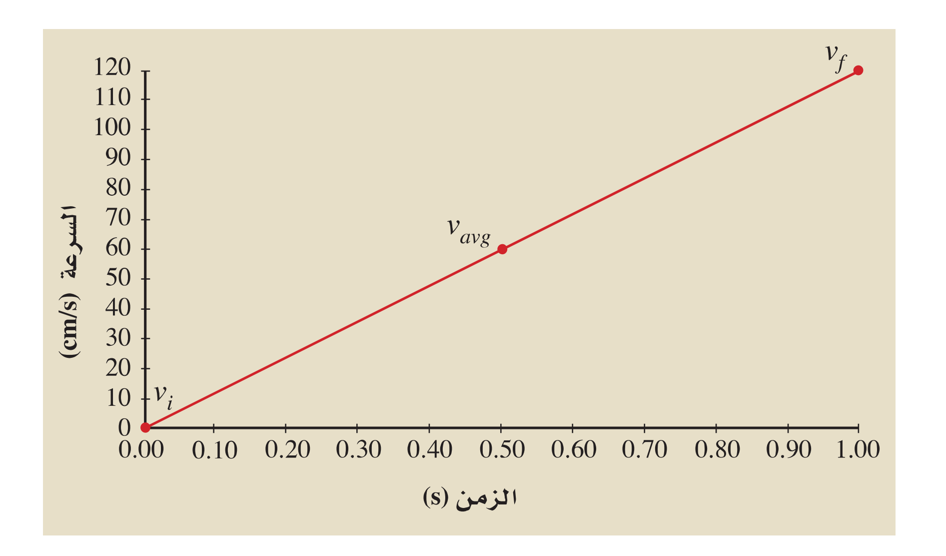
مثلاً، إنَّ السرعةَ الابتدائيةَ v_i للقطارِ في **الشكل 1-10** موجبة، في حينِ أنَّ سرعتَهُ عندَ النقطةِ A تزدادُ، ممّا يعني أنَّ التعجيلَ موجب، ذلكَ ما يبينُهُ القسمُ الأوَّلُ من **الجدول 1-3**. لكنْ، برغمِ أنَّ السرعةَ عندَ النقطةِ C لا تزالُ موجبةً، فإنَّ التعجيلَ سالبٌ، والقطارَ في حالةِ تباطؤ.

الحركةُ بتعجيلٍ ثابت

يُظهرُ **الشكلُ 1-11** صورةً ستربوسكوبيةً لكرةٍ في عشرةِ مواقع، سقطَتْ في خطٍّ مستقيمٍ بتعجيلٍ ثابتٍ خلالَ ثانيةٍ واحدة، ممّا يجعلُ الفترةَ الزمنيةَ الفاصلةَ بينَ موقعَيْنِ متتالينِ 0.10 s. كلما ازدادَتْ سرعةُ الكرةِ ازدادَتْ إزاحتُها في كلِّ فترة. وبما أن التعجيلَ ثابتٌ فإنَّ سرعةَ الكرةِ تزدادُ بالمقدارِ ذاتِه، وبالتالي فإنَّ الإزاحةَ في كلِّ فترةٍ تزدادُ أيضًا بالمقدارِ ذاتِه، مما يعني أنَّ المسافةَ التي قطعتْها الكرةُ في فترةٍ زمنيةٍ معيَّنةٍ تساوي المسافةَ التي قطعتْها في الفترةِ السابقةِ مضافًا إليها مسافةٌ ثابتة. يتبيَّنُ ذلكَ في الصورةِ، حيثُ تلاحظُ أنَّ المسافةَ بينَ موقعَيْنِ متتاليَيْنِ تزدادُ بينما تبقى الفترةُ الزمنيةُ ثابتة. لقد تحدَّدتِ العلاقاتُ بينَ الإزاحةِ والسرعةِ والتعجيلِ بمعادلاتٍ تُطَبَّقُ على حركةٍ ذاتِ بُعدٍ واحدٍ وتعجيلٍ ثابت.



الشكل 1-11
استغرقتِ الحركةُ الظاهرةُ في الصورةِ حوالي 1.00 s. تتراءى لعينيك صورةٌ ضبابيةٌ خلالَ هذه الفترةِ الزمنيةِ القصيرة، في حينِ أنَّ ما تُظهِرهُ الصورةُ هو ما يحدُثُ فعلاً خلالَ ذلكَ الوقت.



الشكل 1-12

إذا تحرَّكتْ كرةٌ بسرعة ثابتة تساوي السرعةَ المتوسِّطة v_{avg}، خلالَ تلك الفترةِ الزمنيةِ يكونُ لها إزاحةُ الكرةِ الظاهرةِ في الشكل 1-11 نفسُها والتعجيلُ الثابتُ نفسُه.

الإزاحةُ بدلالةِ التعجيلِ والسرعةِ الابتدائيةِ والزمن

يُظهرُ **الشكلُ 1-12** منحنى (السرعة – الزمن) البيانيَّ للكرة، حيثُ ظهرَتْ سرعتا الكرةِ الابتدائيةُ والنهائيةُ، وكذلك سرعتُها المتوسِّطة. نعلمُ أنَّ السرعةَ المتوسِّطةَ تساوي حاصلَ قسمةِ الإزاحةِ على المدَّةِ الزمنية.

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

السرعةُ المتوسِّطةُ لجسمٍ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابتٍ تساوي:

$$v_{avg} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

وبتساوي المعادلتَيْنِ نحصُلُ على:

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_i + v_f}{2}$$

لنضربْ طَرَفَيِ المعادلة في Δt، عندَها نحصُلُ على الإزاحة. تُستعملُ هذه المعادلةُ لحسابِ إزاحةِ جسمٍ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابت.

هل تعلم؟

يسمَّى التناقصُ في السرعةِ أحيانًا **تباطؤًا** deceleration، وهو في الواقعِ حالةُ تسارعٍ خاصَّةٌ يتناقصُ فيها مقدارُ السرعةِ مع مرورِ الزمن.

الإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\ \Delta t$$

الإزاحة = $\frac{1}{2}$(السرعة الابتدائية + السرعة النهائية) × (الفترة الزمنية)

مثال 1 (ج)

الإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

المسألة

ازدادتْ سرعةُ سيّارةِ سباقٍ حتى بلغت 42 m/s. بدأتِ السيّارةُ بعدَ ذلكَ مرحلةَ تعجيلٍ سالبٍ مستعملةً المظلةَ وجهازَ المكابحِ إلى أن توقفتْ خلالَ 5.5 s. ما المسافةُ التي قطعَتْها السيّارةُ في مرحلةِ التباطؤ؟

الحل

المعطى: $v_i = 42\ \text{m/s}$ $\quad v_f = 0.0\ \text{m/s}$

$\Delta t = 5.5\ \text{s}$

المجهول: $\Delta x = ?$

أستعملُ المعادلةَ التاليةَ لحسابِ الإزاحة:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\ \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}\ (42\ \text{m/s} + 0.0\ \text{m/s})\ (5.5\ \text{s})$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}\ (42\ \text{m/s})\ (5.5\ \text{s})$$

$$\Delta x = (21\text{m/s})\ (5.5\ \text{s})$$

$$\Delta x = 115.5\ \text{m} = 120\ \text{m}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

جوابُ الآلةِ الحاسبةِ هو 115.5 m. بما أنَّ لكلٍّ من السرعةِ والزمنِ رقمَيْنِ معنويَّيْنِ، فإنَّ الجوابَ يدوَّرُ ليصبحَ 120 m.

تطبيق 1 (ج)

الإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

1. تسارعَت سيّارةٌ بمعدَّلٍ ثابتٍ من حالةِ السكونِ حتى وصلَتْ إلى سرعةِ 23.7 km/h خلالَ 6.5 s. ما المسافةُ التي قطعتْها السيّارة؟
2. بينما تقودُ «زيلان» سيّارتَها بسرعةِ 15.0 m/s تُفاجأُ بإشارةِ المرورِ الحمراء. تدوسُ المكابحَ فتتباطأُ السيّارةُ بانتظامٍ وتتوقَّفُ عند إشارةِ المرورِ خلالَ 2.50 s. كم كانَ بُعدُ السيارةِ عن الإشارة؟
3. رأى رجلٌ يقودُ سيّارةً بسرعةِ 78 km/h حصانًا يجتازُ الطريقَ على مسافةِ 101 m من السيّارة. كم من الوقتِ يلزمُ السيّارةَ لتتباطأَ بانتظامٍ وتتوقَّفَ بعد قطعِ مسافةِ 99 m كي تتفادى الاصطدامَ بالحصان؟
4. تدخلُ سيّارةٌ الطريقَ العامَّ من طريقٍ فرعيةٍ بسرعةِ 6.4 m/s وتعجيلٍ ثابتٍ لمسافةِ 3.2 km خلالَ 3.5 min. كم تبلغُ سرعةُ السيّارةِ بعدَ هذه الفترة؟

السرعةُ النهائيةُ تعتمدُ على كلٍّ منَ السرعةِ الابتدائيةِ والتعجيلِ والمدَّةِ الزمنية

كيفَ تُحسبُ الإزاحةُ من دونِ معرفةِ السرعةِ النهائيةِ؟ نستطيعُ حسابَ السرعةِ النهائيةِ إذا عرفْنا السرعةَ الابتدائيةَ، والتعجيلَ الثابتَ، والمدَّةَ الزمنية. عندها نستعملُ السرعةَ النهائيةَ لحسابِ الإزاحة.

إنَّ إعادةَ ترتيبِ معادلةِ التعجيلِ تسمحُ لنا بحسابِ السرعةِ النهائيةِ على النحوِ التالي:

$$a = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a\Delta t = v_f - v_i$$

نجمعُ v_i إلى طرفَيِ المعادلةِ فنحصُلُ على v_f :

$$a\Delta t + v_i = v_f$$

السرعةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

السرعةُ النهائية = السرعة الابتدائية + (التعجيل × الفترة الزمنية)

بإمكانكَ استعمالُ هذه المعادلةِ لحسابِ السرعةِ النهائيةِ لجسمٍ متحرِّكٍ بتعجيلٍ ثابتٍ لفترةٍ زمنيةٍ محدَّدة.

باستطاعتِكَ الآنَ الحصولُ على معادلةٍ أخرى تساعدُك على حسابِ الإزاحةِ من خلالِ تعويضِ السرعةِ النهائيةِ في المعادلةِ التالية:

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\ \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_i + a\Delta t)\ \Delta t$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}[2v_i\Delta t + a(\Delta t)^2]$$

الإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

$$\Delta x = v_i\,\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

الإزاحة = (السرعة الابتدائية × الفترة الزمنية) + $\frac{1}{2}$(التعجيل)(الفترة الزمنية)^2

تساعدُنا هذه العمليةُ ليسَ فقط في حسابِ إزاحةِ جسمٍ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابت، بل أيضًا في حسابِ الإزاحةِ اللازمةِ لكي تصلَ سرعةُ جسمٍ معيَّنٍ إلى مقدارٍ معيّنٍ أو إلى حالةِ الوقوف.

مثال 1 (د)

السرعةُ والإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

المسألة

تنطلقُ طائرةٌ من حالةِ السكونِ من أحدِ أطرافِ المدرجِ بتعجيلٍ ثابتٍ مقدارُه $4.8\ m/s^2$ لمدَّةِ 15 s قبلَ إقلاعِها. كم تبلغُ سرعةُ الإقلاعِ؟ كم يجبُ أن يكونَ طولُ المدرجِ ليتيحَ للطائرةِ أن تقلع؟

الحل

المعطى: $v_i = 0.0\ m/s$ $\quad a = 4.8\ m/s^2$ $\quad \Delta t = 15\ s$

المجهول: $\Delta x = ?$ $\quad v_f = ?$

أستعملُ معادلةَ السرعةِ، لجسمٍ يتسارعُ بانتظامٍ.

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

$$v_f = 0.0\ m/s + (4.8\ m/s^2)(15\ s)$$

$$\boxed{v_f = 72\ m/s}$$

أستعملُ معادلةَ الإزاحةِ الواردةَ في الصفحةِ 18

$$\Delta x = v_i\Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$$

$$\Delta x = (0.0\ m/s)(15\ s) + \frac{1}{2}(4.8\ m/s^2)(15\ s)^2$$

$$\boxed{\Delta x = 540\ m}$$

تطبيق 1 (د)

السرعةُ والإزاحةُ في حالةِ التعجيلِ الثابت

1. تتحرَّكُ سيّارةٌ من سرعةٍ ابتدائيةٍ 23.7 km/h وبتعجيلٍ ثابتٍ $0.92\ m/s^2$ لمدةِ 3.6 s. جِدْ سرعةَ السيّارةِ النهائيةَ وإزاحتَها.
2. تتحرَّكُ سيّارةٌ بتعجيلِ $3.0\ m/s^2$ وسرعةٍ ابتدائيةٍ هي 4.30 m/s. جِدْ سرعةَ السيّارةِ النهائيةَ والإزاحةَ بعدَ 5.0 s.
3. تنطلقُ سيّارةٌ من حالةِ السكونِ بتعجيلِ $-1.5\ m/s^2$ لمدَّةِ 5.0 s. ما سرعتُها النهائيةُ؟ وما الإزاحةُ التي قطعتْها خلالَ تلكَ المدَّةِ؟
4. تسيرُ سيّارةٌ بسرعةِ 15.0 m/s. يضغطُ السائقُ المكابحَ فتتسارعُ السيّارةُ بمقدارِ $-2.0\ m/s^2$. كم يلزمُ من الوقتِ لتصبحَ سرعةُ السيّارةِ النهائيةُ 10.0 m/s؟ ما إزاحةُ السيّارةِ خلالَ تلكَ الفترةِ؟

السرعةُ تعتمد على التعجيل والإزاحة

نلاحظُ، حتى الآنَ، أنَّ معادلاتِ الحركةِ ذاتِ التعجيلِ الثابتِ تتطلَّبُ معرفةَ الفترةِ الزمنية. لكنْ باستطاعتِنا أيضًا التوصُّلُ إلى علاقةٍ تربطُ الإزاحةَ والسرعةَ والتعجيلَ من دون الفترةِ الزمنية. تتضمَّنُ هذه الطريقةُ إيجادَ الفترةِ الزمنيةِ من خلالِ إعادةِ ترتيبِ إحدى المعادلاتِ التي تمَّ تعويضُها في معادلةٍ أخرى، مما يتيحُ لنا الحصولَ على علاقةٍ للسرعةِ النهائيةِ مجرَّدٍ من الفترةِ الزمنية.

لنبدأ من معادلةِ الإزاحةِ الواردةِ في الصفحة 16:

$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\ \Delta t$، لنضربْ طرفَيِ المعادلة في 2:

$2\Delta x = (v_i + v_f)\ \Delta t$ ، لنقسمْ الطرفينِ على $(v_i + v_f)$:

$$\left(\frac{2\ \Delta x}{v_i + v_f}\right) = \Delta t$$

ونعوّضُ Δt في معادلةِ السرعةِ النهائية:

$$v_f = v_i + a\ (\Delta t)$$

$$v_f = v_i + a\left(\frac{2\ \Delta x}{v_i + v_f}\right)$$

نلاحظُ أنَّ v_f موجودةٌ في طرفَيِ المعادلة. لنطرحْ إذنْ v_i من الطرفَيْن:

$$v_f - v_i = a\left(\frac{2\ \Delta x}{v_i + v_f}\right)$$

لنضربِ الطرفَيْنِ في $(v_f + v_i)$:

$$(v_f - v_i)(v_f + v_i) = 2a\Delta x = v_f^2 - v_i^2$$

نضيفُ v_i^2 إلى الطرفَيْنِ فنحصُلُ على v_f^2 .

السرعةُ النهائيةُ بعدَ إزاحةٍ معيَّنة

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

(السرعةُ النهائية)^2 = (السرعة الابتدائية)^2+ 2(التعجيل)(الإزاحة)

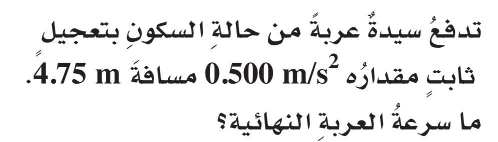
عندَ استعمالِ هذه المعادلةِ لحسابِ السرعةِ النهائيةِ يتوجَّبُ عليكَ إيجادُ الجَذْرِ التربيعيِّ للطرفِ الأيمنِ من المعادلة. تذكَّرْ أن ناتجَ الجِذْرِ التربيعيِّ يمكنُ أن يكونَ موجبًا أو سالبًا. باستطاعتِكَ أن تحدِّدَ قيمةَ الجوابِ الصحيحِ من خلالِ الرجوعِ إلى اتِّجاهِ الحركة.

مثال 1 (هـ)

السرعةُ النهائيةُ بعدَ إزاحةٍ معيَّنة

المسألة





تدفعُ سيدةٌ عربةً من حالةِ السكونِ بتعجيلٍ ثابتٍ مقدارُه $0.500\ m/s^2$ مسافةَ $4.75\ m$.
ما سرعةُ العربةِ النهائيةِ؟

الحـــل

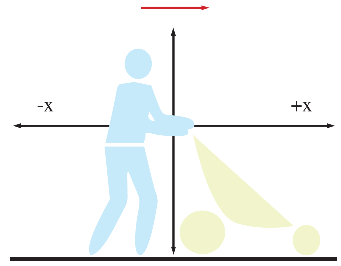
1. أعرّف

المعطى: $v_i = 0.0\ m/s$ $\quad a = 0.500\ m/s^2$

$\Delta x = 4.75\ m$

المجهول: $v_f = ?$

المخطط:



أختارُ نظامَ إحداثياتٍ مناسبًا تتطابقُ فيه نقطةُ الأصلِ مع الموقعِ الابتدائيِّ للعربة، ويكونُ الاتِّجاهُ الموجبُ إلى اليمين.

2. أخطِّط

أختارُ معادلة: مقدارُ كلٍّ من السرعةِ الابتدائيةِ والتعجيلِ والإزاحةِ معروفٌ لذا يمكنُني حسابُ السرعةِ النهائيةِ باستعمالِ المعادلةِ التي في الصفحةِ 20:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$$

3. أحسب

أعوِّضُ المقاديرَ في المعادلة: $v_f^2 = (0.0\ m/s)^2 + 2(0.500\ m/s^2)\ (4.75\ m)$

$$v_f^2 = 4.75\ m^2/s^2$$

$$v_f = \sqrt{4.75\ m^2/s^2} = \pm\ 2.18\ m/s$$

4. أقيِّم

أتوقَّعُ أن تكونَ السرعةُ النهائيةُ موجبةً لأنَّ اتِّجاهَ الحركةِ إلى اليمين، أي موجب. يتبيَّنُ من **الجدولِ 1-3** في الصفحةِ 15 أنَّ سرعةَ جسمٍ معيَّنٍ تزدادُ عندما يكونُ تعجيلُهُ موجبًا وسرعتُهُ موجبة. أما السرعةُ السالبةُ والتعجيلُ الموجبُ فيشيرانِ إلى أنَّ الجسمَ يتباطأ. ولأنَّ حركةَ العربةِ قد بدأتْ من حالةِ السكونِ فالجوابُ المعقولُ للسرعةِ هو السرعةُ الموجبة.

تطبيق 1 (هـ)

السرعةُ النهائيةُ بعدَ إزاحةٍ معيَّنة

1. جِدْ سرعةَ العربةِ في المثالِ 1 (هـ) بعدَ أن تقطعَ مسافةَ 6.32 m.
2. تنطلقُ سيّارةٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها +7.0 m/s بتعجيل ثابت مقداره $+0.80\ m/s^2$ وتقطع مسافةَ 245 m. جِدْ:
   أ. سرعةَ السيّارةِ النهائية.
   ب. سرعتَها بعدَ مسافةِ 125 m.
   ج. سرعتَها بعدَ مسافةِ 67 m.
3. تنطلقُ سيّارةٌ من السكونِ على خطٍّ مستقيمٍ بتعجيلٍ مقدارُه $2.3\ m/s^2$.
   أ. ما سرعتُها بعدَ أن تقطعَ مسافةَ 55 m ؟
   ب. كم يلزمُها من الوقتِ لتقطعَ مسافةَ 55 m ؟
4. قاربٌ سريعٌ يتباطأُ بمعدَّلٍ ثابتٍ من سرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 6.5 m/s في اتِّجاهِ الغربِ إلى سرعةٍ نهائيةٍ مقدارُها 1.5 m/s في الاتِّجاهِ نفسهِ. ما المسافة التي يقطعُها إذا كان تعجيلُهُ $2.7\ m/s^2$ في اتِّجاهِ الشرق؟
5. لتبدأَ طائرةٌ بالارتفاعِ عن الأرضِ تلزمُها سرعةُ 120 km/h. ما الحدُّ الأدنى للتعجيلِ اللازمِ لإقلاعِ الطائرةِ إذا كانَ طولُ المدرجِ 240 m؟
6. كم تبلغُ إزاحةُ سيّارةٍ تتسارعُ من 83 km/h إلى 94 km/h وبتعجيلٍ ثابتٍ مقدارُه $0.85\ m/s^2$؟

استعنْ بالمعادلاتِ الأربعِ الواردةِ في هذا الفصلِ، تتمكَّنْ من حلِّ أيِّ مسألةٍ حولَ الحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ ذاتِ التعجيلِ الثابت.

يبيِّنُ العمودُ الأولُ من **الجدول 1-4** المعادلاتِ بشكلِها العام. أما العمودُ الثاني فيبيِّنُ المعادلاتِ المستعملةَ في حالةِ انطلاقِ الحركةِ من السكونِ بتعجيلٍ ثابت. في حالةِ انطلاقِ الحركةِ من السكونِ حيث $v_i = 0$ تعوَّضُ قيمةُ v_i في معادلاتِ العمودِ الأول، للحصولِ على معادلاتِ العمودِ الثاني.

الجدول 1-4 معادلاتُ الحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ ذاتِ التعجيلِ الثابت

معادلاتُ الحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ ابتدائيةٍ قدرُها v_i	معادلاتُ الحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ إذا بدأتِ الحركةُ من السكون
$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\ \Delta t$	$\Delta x = \frac{1}{2}(v_f)\ \Delta t$
$v_f = v_i + a(\Delta t)$	$v_f = a(\Delta t)$
$\Delta x = v_i(\Delta t) + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$	$\Delta x = \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$
$v_f^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$	$v_f^2 = 2a\Delta x$

مراجعةُ القسم 1-2

1. تتسارعُ سيّارةٌ بتعجيل ثابتٍ مقدارُه $+2.6\ m/s^2$ من سرعةِ 88.5 km/h إلى سرعةٍ نهائيةٍ 96.5 km/h. ما الفترةُ الزمنيةُ اللازمة؟

2. تتباطأُ كرةٌ، وهي تتدحرجُ، على مسارٍ أفقيٍّ مستقيمٍ من سرعةٍ ابتدائيةٍ سالبة. هل يكونُ تعجيلُ الكرةِ سالبًا أم موجبًا؟

3. يقودُ كارزان دراجةً بتعجيلٍ ثابتٍ في خطٍّ مستقيمٍ بدءًا من حالةِ السكونِ إلى سرعةِ 12.5 m/s خلالَ 2.5 s.

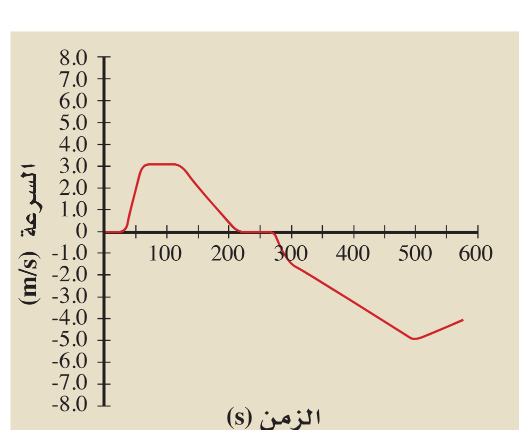
أ. ما تعجيلُهُ؟

ب. ما إزاحتُه؟

ج. ما سرعتُهُ المتوسِّطة؟

4. تفكيرٌ ناقد سيّارتانِ (أ) و (ب) تسيرانِ على طريقٍ عامٍّ في اتِّجاهٍ واحدٍ وفي مسارَيْنِ متوازيَيْن. في لحظةٍ معيَّنةٍ تتجاوزُ السرعةُ اللحظيةُ للسيارةِ (أ) السرعةَ اللحظيةَ للسيارة (ب). هل يعني ذلكَ أنَّ تعجيلَ (أ) أكبرُ من تعجيلِ (ب)؟ اشرحْ بالأمثلة.

5. تفسيرُ البيانات يُظهِرُ الشكلُ 1-13 منحنى (السرعة – الزمن) البيانيَّ لحافلةٍ تسيرُ في خطٍّ مستقيم.



الشكل 1-13

أ. حدِّدِ الفتراتِ الزمنيةَ التي تتحرَّكُ خلالَها الحافلةُ بسرعةٍ ثابتة.

ب. حدِّدِ الفتراتِ الزمنيةَ التي يكونُ فيها تعجيلُ الحافلةِ ثابتًا.

ج. جِدْ مقدارَ السرعةِ المتوسِّطةِ للحافلةِ خلالَ كلٍّ من الفتراتِ الزمنيةِ في الفرعِ (ب).

د. احسبْ تعجيلَ الحافلةِ خلالَ كلٍّ من الفتراتِ الزمنيةِ في الفرعِ (ب).

هـ. حدِّدِ الأوقاتَ التي تكونُ فيها سرعةُ الحافلةِ صفرًا.

و. حدِّدِ الأوقاتَ التي يكونُ فيها تعجيلُ الحافلةِ صفرًا.

ز. وضِّح ما يبيِّنُهُ شكلُ المنحنى بالنسبةِ إلى التعجيلِ في كلِّ فترةٍ زمنية.

6. تفسيرُ البيانات هل تسيرُ الحافلةُ في المسألةِ السابقةِ في الاتِّجاهِ نفسِهِ دائمًا؟ اشرحْ مستعملاً الفتراتِ الزمنيةَ الظاهرةَ في الرسم.

القسم 3-1

السقوطُ الحرُّ للأجسامِ

Falling Objects

3-1 أهدافُ القسم

- يربطُ حركةَ السقوطِ الحرِّ للأجسامِ بالحركةِ ذاتِ التعجيلِ الثابت.
- يحسبُ الإزاحةَ والسرعةَ والزمنَ على نقاطٍ مختلفةٍ في حركةِ السقوطِ الحرِّ لجسمٍ معيَّن.
- يقارنُ حركةَ السقوطِ الحرِّ لأجسامٍ مختلفة.

السقوطُ الحر

حركةُ جسمٍ يسقطُ تحتَ تأثيرِ وزنِه فقط، بمعنى إهمالِ مقاومةِ الهواءِ أو أيِّ قوى أخرى.

السقوطُ الحرّ

في 2 آب 1971 أجرى رائدُ الفضاءِ دايفيد سكوت تجربةً على سطحِ القمر. فقد أفلتَ مطرقةً وريشةً في وقتٍ واحدٍ ومن علوٍّ واحد. سقطتِ المطرقةُ والريشةُ في خطٍّ مستقيم، وحطّتا على سطحِ القمرِ في اللحظةِ نفسِها، برغمِ أنَّ كتلةَ المطرقةِ تزيدُ عن كتلةِ الريشة. هذا يعني أنهما قَطَعَتا الإزاحةَ نفسَها في الوقتِ نفسِه.

تعجيلُ الأجسامِ الساقطة

يُظهرُ **الشكلُ 14-1** سقوطَ ريشةٍ وتفّاحةٍ من حالةِ سكونٍ في حاويةٍ أُفرغتْ من الهواء. يتحرَّرُ الجسمانِ ويبدأُ تصويرُهما في اللحظةِ نفسِها بوساطةِ جهازٍ إلكترونيّ.

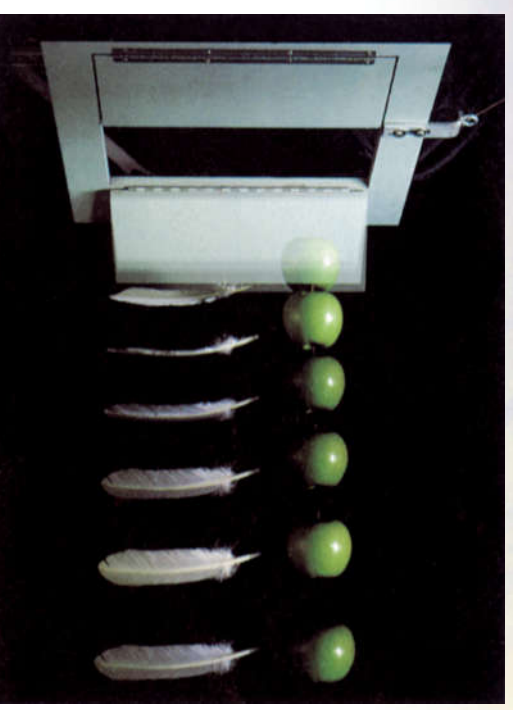
يُظهرُ الترتيبُ الأفقيُّ للصُّوَرِ المتعدِّدةِ سقوطَ الجسمَيْنِ متحاذيَيْنِ تمامًا وبالتعجيلِ نفسِه. من المتعارفِ عليهِ الآنَ أنه بغيابِ مقاومةِ الهواءِ تسقطُ كلُّ الأجسامِ، قربَ سطحِ الكوكبِ، بالتعجيلِ نفسِه. تُسمّى هذه الحركةُ حركةَ **السقوطِ الحرِّ** free fall.

بالرغمِ من أنَّ الفترةَ الزمنيةَ بينَ الصورتَيْنِ، الأولى والثانيةِ، تساوي الفترةَ بين الصورتَيْنِ الخامسةِ والسادسةِ، إلا أنَّ الإزاحةَ في كلٍّ من هاتَيْنِ الفترتَيْنِ غيرُ ثابتة. لقد كانتِ التفّاحةُ والريشةُ تتسارعان.

قارنِ الإزاحةَ بينَ الصورتَيْنِ الأولى والثانيةِ، والإزاحةَ بينَ الصورتَيْنِ الثانيةِ والثالثة، تلاحظْ أنَّ الزيادةَ في الإزاحةِ في كلِّ فترةٍ بالمقارنةِ مع الفترةِ السابقةِ هي نفسُها للريشةِ والتفّاحة. ولأنَّ الفترةَ الزمنيةَ هي نفسُها، نستنتجُ أنَّ السرعةَ تزدادُ بالمقدارِ نفسِه، ما يعني أنَّ الجسمَيْنِ يسقطانِ بالتعجيلِ الثابتِ نفسِه.

يُرمَزُ إلى تعجيلِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ بالمتَّجهِ $\vec{g}$، ومقدارُه تقريبًا $9.81\ m/s^2$ ويسمّى تعجيلَ الجاذبيةِ الأرضية. تُعتمدُ هذهِ القيمةُ في الكتابِ ما لم يُذكرْ غيرُ ذلك. يَتَّجِهُ هذا التعجيلُ إلى أسفلَ باتِّجاهِ مركزِ الأرض. وبما أننا في نظامِ الإحداثياتِ نختارُ عادةً الاتِّجاهَ إلى الأسفلِ سالبًا، فإنَّ مقدارَ تعجيلِ الأجسامِ الساقطةِ يكونُ قربَ سطحِ الأرضِ $-9.81\ m/s^2$.

يُظهرُ **الشكلُ 15-1** صورةً ستروبوسكوبيةً لكرةٍ قُذفَتْ إلى أعلى في الهواءِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ $+10.5\ m/s$. **الشكلُ** (أ) يُظهرُ الكرةَ تتحرَّكُ صعودًا من نقطةِ الانطلاقِ إلى قمَّةِ المسار، أما **الشكلُ** (ب) فتظهرُ فيهِ الكرةُ تتحرَّكُ نزولاً من القمة. وتُبَيِّنُ لنا خبرتُنا اليوميةُ لدى رمينا جسمًا إلى أعلى في الهواءِ، أنَّ الجسمَ يستمرُّ في صعودِه لبعضِ الوقت، إلى أن يقفَ لحظيًّا في القمَّة، ثم يغيِّرُ اتِّجاهَ حركتِهِ ويبدأُ في السقوط. ونظرًا إلى تغيُّرِ اتِّجاهِ الحركةِ



الشكل 14-1

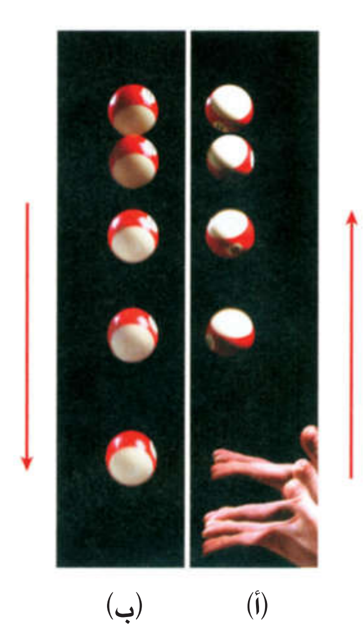
لدى انعدامِ مقاومةِ الهواءِ، تسقطُ كلُّ الأجسامِ بالتعجيلِ نفسِه دونَ اعتبارٍ لكتلِها.

نظنُّ أنَّ كُلاًّ من السرعةِ والتعجيلِ قد غيَّرا اتِّجاهَهما. في الحقيقةِ كلُّ الأجسامِ المقذوفةِ إلى أعلى في الهواءِ يكونُ لها، بُعَيْدَ إطلاقِها، تعجيلٌ ثابتٌ إلى أسفل. يُظهِرُ **الشكلُ 15-1** (أ) تناقصَ الإزاحةِ الرأسيةِ للكرةِ مع تتابعِ الفتراتِ الزمنيةِ، إلى أن تتوقَّفَ الكرةُ وتبدأَ أخيرًا بالسقوطِ بسرعةٍ متزايدةٍ إلى أسفل، كما يظهرُ في الشكل **15-1** (ب).

بُعَيْدَ إطلاقِ الكرةِ إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها +10.5 m/s يكونُ تعجيلُها –9.81 m/s^2. وبعدَ مضيِّ 1.0 s تتغيَّرُ سرعةُ الكرةِ بمقدارِ –9.81 m/s لتصبحَ 0.69 m/s إلى أعلى. وبعدَ 2.0 s تتغيَّرُ سرعتُها ثانيةً بمقدارِ –9.81 m/s لتصبحَ –9.12 m/s.

يُظهِرُ **الشكلُ 16-1** منحنى (السرعة – الزمن) للكرة. وفيه، كما ترى، لحظةٌ معيَّنةٌ تصبحُ عندَها سرعةُ الكرةِ صفرًا. يحدثُ ذلكَ عندما تصلُ الكرةُ إلى قمَّةِ مسارِها وقبيلَ بَدْءِ سقوطِها.

من المهمِّ أن تعيَ أنَّ التعجيلَ يبقى –9.81 m/s^2 حتى في القمَّةِ حيثُ السرعةُ صفر. ويشيرُ الميلُ الثابتُ للخطِّ المستقيمِ في المنحنى إلى أنَّ التعجيلَ ثابتٌ في كلِّ لحظة.



(أ) (ب)

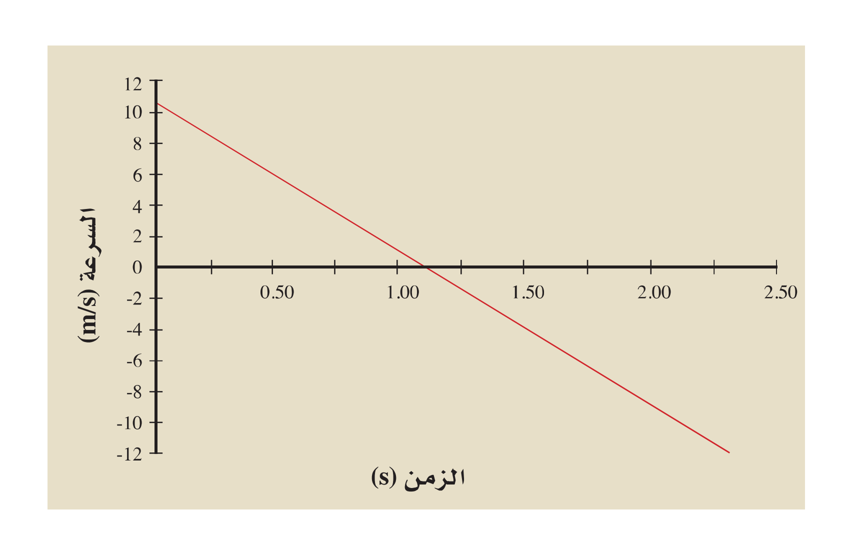
الشكل 15-1
سرعةُ الكرةِ عندَ قمَّةِ مسارِها صفرٌ، لكنَّ تعجيلَها يبقى –9.81 m/s^2 في كلِّ نقطةٍ من صعودِها (أ) أو من سقوطِها (ب).

تعجيلُ الأجسامِ الساقطةِ سقوطًا حرًّا ثابت

هناكَ بعضُ الحَيْرةِ التي قد تظهرُ عندَ التفكيرِ في جسمٍ مثلِ الكرةِ يتحرَّكُ إلى أعلى، واتِّجاهُ تعجيلِهِ إلى أسفل. قد يساعدُ في تبديدِ هذه الحيرةِ التفكيرُ في الحركةِ على أنها حركةٌ ذاتُ سرعةٍ موجبةٍ وتعجيلٍ سالب. التعجيلُ هوَ نفسُه، أما المتغيّراتُ فهي الموقعُ واتِّجاهُ السرعةِ ومقدارُها.

سرعةُ الجسمِ الذي يُقذفُ في الهواءِ إلى أعلى موجبةٌ، أما تعجيلُهُ فسالب. يتبيَّنُ من **الجدول 3-1** في الصفحةِ 15 أنَّ الجسمَ يتباطأُ بشكلٍ معقولٍ بدليلِ مَثَلِ الكرةِ السابقِ وخبرتِنا اليومية. يستمرُّ الجسمُ في الحركةِ إلى أعلى ولكنْ بتناقصٍ في سرعتِه. يظهرُ ذلكَ في الصورةِ من خلالِ التناقصِ في الإزاحة.

تناقصَتْ سرعةُ الجسمِ حتى وصلَتْ عندَ القِمَّةِ إلى الصفر. هذا الأمرُ حقيقةٌ واقعةٌ بالرغمِ من أن رؤيتَهُ مستحيلةٌ لسرعةِ حدوثِه. ومع أنَّ سرعتَهُ صفرٌ في تلكَ اللحظةِ فإنَّ تعجيلَهُ ما زالَ –9.81 m/s^2.



الشكل 16-1
إنَّ مَيْلَ المستقيم، على منحنى (السرعة – الزمن)، وهو يساوي تعجيلَ الكرةِ، ثابتٌ منذُ لحظةِ إطلاقِ الكرةِ (t = 0.00 s) وطوالَ حركتِها.

للجسمِ عند بدءِ سقوطِهِ سرعةٌ سالبةٌ وتعجيلٌ سالبٌ أيضًا. يشيرُ التعجيلُ السالبُ والسرعةُ السالبةُ الظاهرانِ في **الجدولِ 1-3** إلى أنَّ سرعةَ الجسمِ في ازدياد. في الحقيقةِ هذا ما يحدثُ للأجسامِ في حالةِ السقوطِ الحرّ. الأجسامُ الساقطةُ باتجاهِ الأرضِ تزدادُ سرعتُها خلالَ سقوطِها. يَظهرُ ذلكَ في **الشكل 1-15** من خلالِ الزيادةِ في الإزاحاتِ بينَ صُوَرِ الكرةِ الساقطة.

ومنَ الجديرِ بالذكرِ أن تعجيلَ السقوطِ الحرِّ يسهِّلُ حسابَ السرعةِ والزمنِ والإزاحةِ لأنواعِ حركاتٍ مختلفةٍ، من خلالِ استعمالِ معادلاتِ الحركةِ ذاتِ التعجيلِ الثابت. وبما أنَّ التعجيلَ يبقى هو نفسَه خلالَ الحركةِ بأكملِها فإننا نستطيعُ تحليلَ حركةِ جسمٍ في حالةِ سقوطٍ حرٍّ خلالَ أيِّ فترةٍ زمنية.

نشاط عملي سريع

الفترةُ الزمنيةُ للسقوطِ الحر

الموادّ

✓ مسطرةٌ مترية

إرشاداتُ السلامة

تجنَّبْ إيذاءَ العين، لا تؤرجِحِ المسطرة.

يتأثَّرُ أداؤكَ بسرعةِ ردِّ فعلكَ بدءًا من أنواعِ الرياضةِ إلى القيادةِ أو التقاطِ شيءٍ يسقط. إنَّ زمنَ ردِّ فعلكَ هو الفترةُ الزمنيةُ الفاصلةُ بينَ الحدثِ وردِّ فعلك عليه. لتحديدِ زمنِ ردِّ فعْلكَ، دعْ صديقًا لكَ يمسكْ مسطرةً متريَّةً بوضعٍ رأسيٍ (شاقولي) بحيثُ تمرُّ بينَ إبهامكَ وسبّابتِك ويدُكَ مفتوحةٌ لا تلامسُها. ليكنِ الصفرُ على المسطرةِ بينَ إصبعَيْكَ وباقي المسطرةِ إلى أعلى. يفلتُ صديقُكَ المسطرةَ لتنزلقَ بينَ إبهامكَ وسبّابتكَ دونَ أن ينذرَك. حاولْ أن تمسكَ المسطرةَ بأسرعِ وقتٍ ممكن. في استطاعتِكَ أن تحسبَ زمنَ ردِّ فعلكَ من تعجيلِ السقوطِ الحرِّ ومسافةِ سقوطِ المسطرةِ ما بينَ إفلاتِها وإمساكِكَ بها.

مثال 1 (و)

الجسمُ الساقط

المسألة

يقذفُ باوان الكرةَ إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ قدرُها 6.0 m/s. كم تبقى الكرةُ في الهواءِ قبلَ أن تعودَ إلى الأرضِ إذا كانَ ارتفاعُ نقطةِ انطلاقِها عن الأرضِ 2.0 m؟

الحل

1. أعرِّف

المعطى: $v_i = +6.0\ \text{m/s}$ $\quad a = g = -9.81\ \text{m/s}^2$

$\Delta y = -2\ \text{m}$

المجهول: $\Delta t = ?$

المخطط: أختارُ نظامَ إحداثياتٍ، بحيثُ تكونُ نقطةُ الأصلِ متطابقةً مع نقطةِ انطلاقِ الكرة:

$(y_i = 0$ عند $t_i = 0)$

2. أخطِّط

أختارُ معادلة: الفترةُ الزمنيةُ والسرعةُ النهائيةُ غيرُ معروفتين. إذن أحسبُ v_f أوَّلاً مستعملاً المعادلةَ الخاليةَ من متغيِّرِ الزمن:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g\Delta y$$

أستعملُ معادلةَ v_f الأخرى لحسابِ Δt:

$$v_f = v_i + a\Delta t$$

أرتِّبُ المعادلةَ/المعادلاتِ لعزلِ المجهول: يجبُ ترتيبُ المعادلةِ الثانيةِ لحسابِ Δt:

$$\Delta t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

3. أحسب

أعوِّضُ المقاديرَ في المعادلة: أجدُ أوَّلاً سرعةَ الكرةِ لحظةَ ارتطامِها بالأرض:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2g\Delta y = (6.0 \text{ m/s})^2 + 2(-9.81 \text{ m/s}^2)(-2.0 \text{ m})$$

$$v_f^2 = 36 \text{ m}^2/\text{s}^2 + 39 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 75 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

أستعملُ الجذرَ التربيعيَّ لحسابِ v_f يكونُ الجوابُ إما موجبًا أو سالبًا. في هذه الحالةِ، أختارُ الجوابَ السالبَ لأنَّ الكرةَ تتحرَّكُ نزولاً في اتِّجاهِ الأرضِ، أي في الاتِّجاهِ السالب:

$$v_f = \sqrt{75 \text{ m}^2/\text{s}^2} = \pm 8.7 \text{ m/s}$$

$$v_f = -8.7 \text{ m/s}$$

للحصولِ على Δt أستبدلُ قيمةَ v_f في المعادلةِ الثانية:

$$\Delta t = \frac{v_f - v_i}{a} = \frac{-8.7 \text{ m/s} - 6.0 \text{ m/s}}{-9.81 \text{ m/s}^2} = \frac{-14.7 \text{ m/s}}{-9.81 \text{ m/s}^2}$$

$$\boxed{\Delta t = 1.50 \text{ s}}$$

4. أقيِّم

بما أنَّ السرعةَ تنخفضُ بنسبةِ 9.81 m/s كلَّ 1 s، وبما أنَّ v_i تساوي 6.0 m/s فقط، فإنه يلزمُ الكرةَ أقلُّ من 1 s كي تصلَ إلى ارتفاعِها الأقصى. بعد وصولِها إلى القمَّةِ، يلزمُها أقلُّ من 1 s لتسقطَ إلى موقعِها الأصليّ، مضافًا إليه الوقتُ اللازمُ لتقطعَ 2.0 m وتصلَ إلى الأرض. إذنْ، إنَّ وقتًا إجماليًّا بين 1.0 s و 2.0 s يبدو معقولاً.

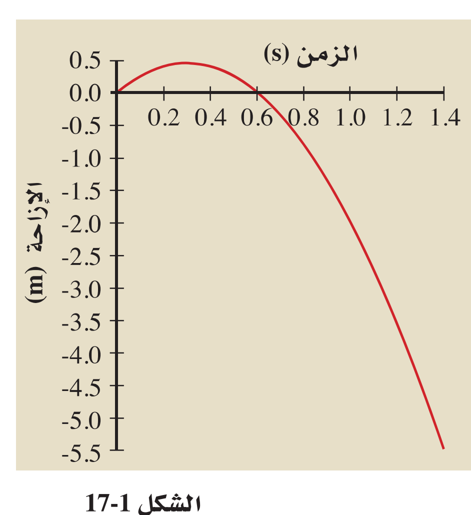
تطبيق 1 (و)

الجسمُ الساقط

1. أسقطَ رجلٌ آليٌّ على سطحِ المرّيخِ آلةَ تصويرٍ من على جبلٍ مشرفٍ ارتفاعُهُ 239 m حيثُ تعجيلُ السقوطِ الحرِّ $-3.7\ m/s^2$.
   أ. جِدْ سرعةَ آلةِ التصويرِ عندَ ارتطامِها بسطحِ المرّيخ.
   ب. جِدِ الوقتَ الذي استغرقَهُ سقوطُ الآلة.
2. يقعُ إناءُ أزهارٍ عن حافةِ نافذةٍ ارتفاعُها عن الرصيفِ 25.0 m.
   أ. ما سرعةُ الإناءِ عندَ ارتطامِه بالأرض؟
   ب. ما أقصى مدةٍ زمنيةٍ يمكنُ لشخصٍ طولُهُ 1.8 m أن يمكُثَها تحتَ النافذةِ تفاديًا لسقوطِ الإناءِ عليه؟
3. قُذِفَتْ كرةُ مضربٍ رأسيًّا إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ +8.0 m/s.
   أ. ما سرعةُ الكرةِ عندَ عودتِها إلى نقطةِ انطلاقِها؟
   ب. ما الزمنُ اللازمُ لتعودَ الكرةُ إلى نقطةِ انطلاقِها؟
4. احسبْ إزاحةَ الكرةِ في المثالِ 1 (و)، إذا كانتْ سرعتُها النهائيةُ 1.1 m/s واتِّجاهُها إلى أعلى.

مراجعةُ القسم 1-3

1. قُذفتْ قطعةٌ نقديةٌ معدنيةٌ رأسيًّا إلى أعلى.
   أ. ماذا يحدثُ لسرعتِها أثناءَ وجودِها في الهواء؟
   ب. هل يزدادُ تعجيلُها أم ينقصُ أم يبقى ثابتًا في الهواء؟
2. سقطتْ حصاةٌ في بئرٍ فاصطدمتْ بالماءِ بعدَ 1.5 s. احسبِ المسافةَ الفاصلةَ بين حافةِ البئرِ وسطحِ الماءِ مستعملاً معادلاتِ الحركةِ ذاتِ التعجيلِ الثابت.
3. رُميتْ كرةٌ رأسيًّا إلى أعلى. كم تكونُ سرعةُ الكرةِ وتعجيلُها في أعلى ارتفاعٍ لها؟ ما تعجيلُها قُبيلَ ارتطامِها بالأرض؟
4. يلعبُ ولدانِ بكُرتَيْنِ من المطّاط. يُفلتُ الأولُ إحدى الكرتين، وفي الوقتِ نفسِهِ يرمي الآخرُ بالكرةِ الثانيةِ إلى أسفلَ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 10 m/s. ما تعجيلُ كلِّ كرةٍ خلالَ حركتِها؟
5. **تفكيرٌ ناقد** يقومُ رياضيٌّ بقفزتَيْنِ بعدَ تأرجُحِهِ في كلٍّ منهما حولَ أحدِ قضيبَيِ المتوازيَيْنِ في لعبةِ الجمباز. ينطلقُ في إحداهما إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ قدرُها +4.0 m/s وفي الأخرى إلى أسفلَ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها −3.0 m/s. قارنْ بينَ سرعتَيِ الرياضيِّ النهائيَّتَيْنِ قُبيلَ وصولِهِ إلى الأرضِ بعدَ القفزتَيْن. ما تعجيلُهُ بعدَ كلِّ قفزة؟
6. **تفسيرُ البيانات** يُظهرُ الشكلُ 1-17 منحنى (الإزاحة – الزمن) البيانيَّ لكرةِ سلَّةٍ قُذفتْ رأسيًّا إلى أعلى. استعملِ الشكلَ لرسمِ مسارِ الكرةِ وتخطيطِ منحنى (السرعة – الزمن) البيانيِّ لحركةِ الكرة، وأجب عمّا يلي:
   أ. هل سرعةُ الكرةِ ثابتة؟
   ب. هل تعجيلُ الكرةِ ثابت؟
   ج. ما السرعةُ الابتدائيةُ للكرة؟



الشكل 1-17

مِهَن الفيزياء

الكاتبُ العلميّ

يشرحُ الكتّابُ العلميون الموضوعاتِ العلميَّةَ للقرّاءِ بطريقةٍ واضحةٍ ومسلّية. للتعرُّفِ أكثر إلى الكتابةِ العلميَّةِ كمهنة، اقرأْ هذه المقابلةَ مع جانيس فان كليف التي ألَّفَتْ خمسين كتابًا حول موضوعات علميَّة.



جانيس فان كليف تنشرُ ما متوسِّطه ثلاثةُ كتبٍ في كلّ عام.

ما الذي يقومُ به الكاتبُ العلمي؟

بعد أن أحدِّدَ شكلَ الكتابِ وعنوانه، أقومُ ببعضِ الأبحاثِ في موضوعاتِه. تشتملُ مكتبتي الخاصَّةُ على 10 000 كتابٍ علميٍّ تقريبًا. وللمزيدِ من المعلوماتِ، أستعملُ شبكةَ الإنترنت للحصولِ على أبحاثٍ جديدةٍ منشورة. والأهمُّ من ذلك كلِّه هم المستشارون العلميّون في مجالِ الاختصاص كرائدِ الفضاءِ والباحثِ الكيميائيِّ وأستاذِ الفيزياء.

بعد أن أكتب النصَّ الأساسيّ، أقومُ بتنقيحِه خمس مرّات. عليَّ التأكُّدُ من أنّ أيَّ تعديلاتٍ أُدخلُها لن تؤثِّرَ في صحَّةِ المعلوماتِ العلميَّة. أقومُ بكتابةِ ثلاثةِ كتبٍ جديدةٍ تقريبًا في كلِّ عامٍ بالإضافةِ إلى مراجعةِ كتبٍ أخرى كُتِبَتْ في سنواتٍ سابقة.

ما نوعُ التدريبِ الذي حصلْتِ عليه؟

قمتُ بتدريسِ العلوم لمدَّةِ 27 عامًا. بعدَها شاهدَ أحدُ الناشرين إعلانًا لبرنامجِ تقويةٍ علميَّةٍ قُمْتُ بإعدادِه وتدريسِه فأرسلَ إليّ رسالةً يسألُني فيها عن استعدادي لكتابةِ كتابٍ علميٍّ للأطفال. كانَ جوابي «نعم بالتأكيد!»

أدركْتُ في وقتٍ قصيرٍ أنَّني، بالرغمِ من مهاراتي في كتابةِ تجاربَ علميَّةٍ لطلاّبي، لا أملكُ فكرةً عن وضعِ كتابٍ علميّ. ولأنَّ الناشرَ كانَ بحاجةٍ ماسَّةٍ إلى الكتابِ فقد قدَّم إليّ الكثيرَ من الملاحظاتِ الشخصيَّة، فتعلَّمتُ بطريقةِ «الخطأ والصواب». وبالرغمِ من أنني نشرتُ 50 كتابًا، فإنني مازلتُ أتعلَّمُ وضعَ الكتبِ بشكلٍ أفضل.

ما الشيءُ المفضَّلُ في عملِك؟

أحبُّ الكتابةَ، لأنَّها كالتدريس، تعلِّمُني أشياءَ كثيرة. فأنا الآن بدلاً من أن أكتبَ المعلومات لطلاّبي فقط، أستطيعُ التشاركَ في الرأيِ مع الطلاّبِ والمدرّسين في كافَّةِ أنحاءِ العالم. المزعجُ في الأمرِ أنني أمضي وقتًا أقلَّ مع طلاّبي مقارنةً مع الفترةِ التي كنتُ فيها مدرِّسة.

بِمَ تنصحينَ الطلاّبَ المهتمّين بالكتابةِ العلميَّة؟

أنصحُهم بالاطّلاعِ على سوقِ الكتبِ، ومعرفةِ الكتبِ المرغوبةِ من القرّاء. قد يكونُ وضعُ الكتابِ من أقلّ المشكلات، إلاّ أنَّ نشرَهُ قد يشكِّلُ عقبةً كبيرة. إذا كنْتَ كاتبًا عظيمًا ومسوِّقًا غيرَ ناجح، فأنصحُكَ بالتعاملِ مع ناشرٍ معروف. اكتبْ عن أشياءَ تحبُّها ولا تيأسْ إذا لم يُقبَلْ عملُك للنشرِ، فعليكَ المحاولةُ أيضًا وأيضًا...

ملخّصُ الفصل 1

مصطلحاتٌ أساسية

المحاور المرجعيَّة Frame of reference (ص 4)

الإزاحة Displacement (ص 5)

السرعةُ المتوسِّطة Average velocity (ص 7)

ميلُ المستقيم Slope (ص 9)

السرعةُ اللحظية (الآنية) Instantaneous velocity (ص 10)

التعجيل Acceleration (ص 12)

السقوطُ الحرّ Free fall (ص 24)

رموزٌ أساسية

الكميات		الوحدات
الموقع	x	m
الموقع	y	m
الإزاحةُ الأفقية	Δx	m
الإزاحةُ الرأسية	Δy	m
السرعة	v	m/s
التعجيل	a	m/s^2
تعجيلُ الجاذبية الأرضية	g	m/s^2

أفكارٌ أساسية

القسمُ 1-1 الإزاحةُ والسرعة

- الإزاحةُ هي تغيُّرُ الموقع في اتِّجاهٍ معيَّن، وليستِ المسافةَ الكليّةَ المقطوعة.
- السرعةُ المتوسِّطةُ لجسمٍ معيَّنٍ خلالَ فترةٍ زمنيةٍ تساوي إزاحةَ الجسمِ مقسومةً على تلكَ الفترةِ الزمنية. والسرعةُ، مثلُ الإزاحةِ، تدلُّ على مقدارٍ واتِّجاه.
- تتمثَّلُ السرعةُ المتوسِّطةُ بالمعادلةِ التالية:

$$v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

- السرعةُ المتوسِّطة تساوي مَيْلَ الخطِّ المستقيمِ الذي يصلُ النقطةَ الابتدائيةَ بالنقطةِ النهائيةِ على منحنى (الموقعِ – الزمن) للجسم.

القسمُ 2-1 التعجيل

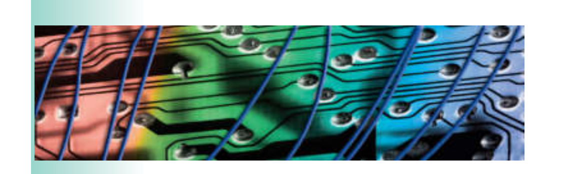
- متوسِّطُ التعجيل يساوي التغيُّرَ في السرعةِ مقسومًا على الفترةِ الزمنية. وللتعجيلِ مقدارٌ واتِّجاه.
- في حالةِ الحركةِ في بُعدٍ واحدٍ يكونُ اتِّجاهُ التعجيل في اتِّجاهِ الحركةِ نفسِه حينَ يزدادُ مقدارُ السرعة، وعكسَ الحركةِ حينَ يتناقصُ مقدارُ السرعة.
- يُعطى متوسِّطُ التعجيلِ بالمعادلةِ التالية:

$$a_{avg} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

- متوسِّطُ التعجيلِ يساوي مَيْلَ الخطِّ المستقيمِ الذي يصلُ النقطةَ الابتدائيةَ بالنقطةِ النهائيةِ على منحنى (السرعةِ – الزمن) للجسم.
- يسري مفعولُ المعادلاتِ الواردةِ في الصفحةِ (22) في حالةِ التعجيلِ الثابت.

القسمُ 3-1 الأجسامُ الساقطة

- يتعرَّضُ جسمٌ عندَ رميِه أو إفلاتِه في مجالِ جاذبيةِ الأرض، إلى تعجيلٍ ثابتٍ في اتِّجاهِ مركزِ الأرضِ يسمَّى تعجيلَ السقوطِ الحرِّ أو تعجيلَ الجاذبيةِ الأرضية.
- تتساوى قيمةُ تعجيلِ السقوطِ الحرِّ لجميعِ الأجسام، دونَ اعتبارِ الكتلة.
- مقدارُ تعجيلِ السقوطِ الحرِّ المستعملةِ في هذا الكتابِ هو: $a = -g = -9.81\ m/s^2$
- يُعدُّ في هذا الكتابِ تعجيلُ السقوطِ الحرِّ في الاتجاهِ السالب، لأنَّ اتجاهَ المحورِ الموجبِ إلى أعلى، بينما عدَّ اتجاهُ تعجيلِ السقوطِ الحرِّ إلى أسفل.



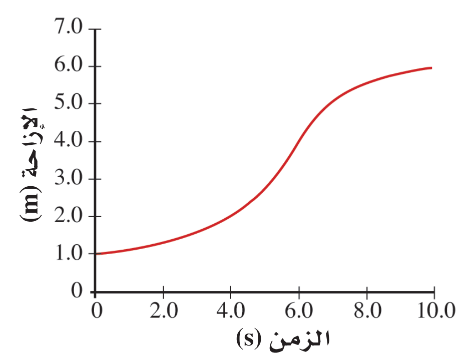
مراجعةُ الفصل 1



الإزاحةُ والسرعة

أسئلةُ مراجعة

1. احسبْ، مستعملاً **الشكلَ 18-1**، المسافةَ المقطوعةَ والإزاحةَ خلالَ الفترةِ الزمنيةِ المبيَّنةِ.



الشكل 18-1

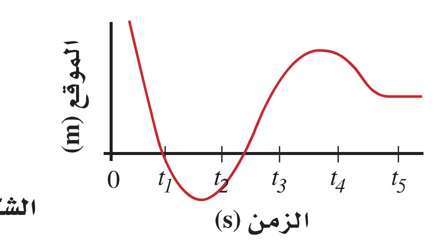
2. بمَ تتمثَّلُ السرعةُ اللحظيةُ على منحنى (الاذاحة – الزمن) في **الشكل 18-1**؟

3. يُظهِرُ **الشكلُ 19-1** منحنى (الاذاحة – الزمن) لحشرةٍ تتحرَّكُ على خطٍّ مستقيمٍ. حدِّدْ ما إذا كانت سرعةُ الحشرةِ موجبةً أو سالبةً أو صفرًا عند كلّ اللحظاتِ الزمنيَّةِ المحدَّدةِ في الشكل.

4. أجبْ عن الأسئلةِ الواردةِ أدناهُ مستعملاً **الشكلَ 19-1**.

أ. ما الفترةُ الزمنيَّةُ التي تكونُ فيها السرعةُ سالبةً؟

ب. ما الفترةُ الزمنيَّةُ التي تكونُ فيها السرعةُ موجبةً؟



الشكل 19-1

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

5. ماذا تقولُ عن إزاحةِ بطَّةٍ في فترةٍ زمنيةٍ معيَّنةٍ، إذا كانَ متوسِّطُ سرعتِها في تلكَ الفترةِ صفرًا؟

6. يمكنُ للسرعةِ أن تكونَ موجبةً أو سالبةً تبعًا لاتِّجاهِ الإزاحةِ، في حين أنَّ الزمنَ موجبًا على الدوام. لماذا؟

مسائلُ تطبيقية

7. تستغرقُ رحلةُ حافلةٍ مدرسيةٍ من المنزلِ إلى المدرسةِ مدةَ 0.530 h بسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 19.0 km/h في اتجاهِ الشرق. ما إزاحتُها؟

8. الرقمُ القياسيُّ لسباقِ الماراثون هو 2 h ،9 min ،21 s بسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 5.436 m/s، ما مسافةُ هذا السباق؟

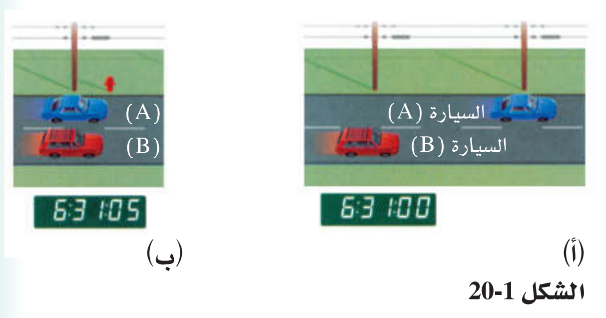
9. تُظهِرُ الصورةُ (أ) في **الشكل 20-1** سيّارتَيْنِ A و B في لحظةٍ معيَّنةٍ على طريقٍ صحراويّ، بينما تُظهِرُهما الصورةُ (ب) جنبًا إلى جنبٍ عند عمودِ الهاتفِ التالي بعدَ 5.0 s، يبعدُ العمودُ عن الآخرِ مسافةَ 70.0 m. احسبْ ما يلي:

أ. إزاحةَ السيّارةِ (A) خلالَ الثواني الخمس.

ب. إزاحةَ السيّارةِ (B) خلالَ الثواني الخمس.

ج. السرعةَ المتوسِّطةَ للسيارةِ (A) خلالَ الثواني الخمس.

د. السرعةَ المتوسِّطةَ للسيارةِ (B) خلالَ الثواني الخمس.



الشكل 20-1

10. يستعملُ ثالان سيارتَهُ للسفرِ من مدينةٍ إلى أخرى. يقودُها بسرعةِ 80.0 km/h لمدَّةِ 30.0 min وبسرعةِ 105 km/h لمدَّةِ 12.0 min وبسرعةِ 40.0 km/h لمدَّةِ 45.0 min، علمًا أن تناولَ الغداءِ والتزوُّدَ بالوقودِ يستغرقانِ مدَّةَ 15.0 min.

أ. جِدِ المسافةَ الكلِّيةَ التي قطعَها ثالان.

ب. جِدِ السرعةَ المتوسِّطةَ للرحلة.

11. يعدو الرياضيُّ دلشاد بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 9.0 km/h في اتِّجاهِ الشرقِ، من نقطةٍ تبعُدُ 6.0 km غربَ رايةِ السباقِ، بينما يعدو الرياضيُّ كاوه بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 8.0 km/h في اتِّجاهِ الغربِ من نقطةٍ تبعُد 5.0 km شرقَ رايةِ السباقِ. كم تبعدُ نقطةُ التقائِهما عن رايةِ السباقِ؟

السرعةُ والتعجيل

أسئلةُ مراجعة

12. ما تعجيلُ سُلَحْفاةٍ تتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 0.25 m/s في اتِّجاهِ اليمينِ؟

13. ارسمْ منحنياتِ (السرعةِ – الزمنِ) في حالاتِ الحركةِ التالية:

أ. حافلةٌ تسيرُ بسرعةٍ ثابتة

ب. عربةٌ تتسارعُ بمعدَّلٍ ثابتٍ وهي تتحرَّكُ في الاتِّجاهِ الموجب

ج. نَمِرٌ يتسارعُ بمعدَّلٍ ثابتٍ وهو يتحرَّكُ في الاتِّجاه السالب

د. غزالٌ يتباطأُ بمعدَّلٍ ثابتٍ وهو يتحرَّكُ في الاتِّجاهِ الموجب

هـ. حصانٌ يتباطأُ بمعدَّلٍ ثابتٍ وهو يتحرَّكُ في الاتِّجاهِ السالب

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

14. هل يمكنُ لسيارةٍ تتَّجهُ شرقًا أن يكونَ تعجيلُها في اتِّجاهِ الغربِ؟ اشرحْ مستعملاً أمثلة.

15. تُظهرُ الصورُ الستروبوسكوبيةُ في **الشكل 1-21** قرصًا يتحرَّكُ من اليسارِ إلى اليمينِ، بشروطٍ مختلفةٍ وبفترةٍ زمنيَّةٍ ثابتةٍ تفصلُ بين الصُّوَر. حدِّدِ الصورةَ أو الجزءَ منَ الصورةِ الذي يمثِّلُ أنواعَ الحركةِ التالية، مفترضًا أنَّ اتِّجاهَ اليمينِ موجب:

أ. التعجيلُ موجب

ب. التعجيلُ سالب

ج. السرعةُ ثابتة

الشكل 1-21

مسائلُ تطبيقية

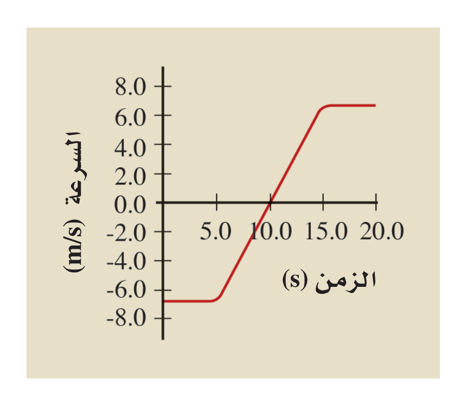
16. تتحرَّكُ سيّارةٌ في خطٍّ مستقيمٍ من سرعةٍ ابتدائيةٍ +5.0 m/s إلى سرعةٍ نهائيةٍ +8.0 m/s بتعجيلٍ مقدارُه $+0.75\ m/s^2$. كم من الزمنِ يلزمُ لتحقيقِ هذا التعجيل؟

17. يُظهرُ **الشكلُ 1-22** منحنى (السرعةِ – الزمنِ) لجسمٍ يتحرَّكُ في مسارٍ مستقيم. جِدْ تعجيلَه خلالَ الفتراتِ الزمنيةِ التالية:

أ. من 0.0 s إلى 5.0 s.

ب. من 5.0 s إلى 15.0 s.

ج. من 15.0 s إلى 20.0 s.



الشكل 1-22

18. تباطأتْ حافلةٌ بمعدَّلٍ ثابتٍ من 75.0 km/h إلى 0 km/h خلال 21 s. ما المسافةُ التي قطعتْها؟

19. تسارعَتْ سيارةٌ بمعدَّلٍ ثابتٍ من السكونِ إلى سرعةٍ مقدارُها 65 km/h خلالَ 12 s. جِدِ المسافةَ التي قطعتْها السيّارةُ خلالَ هذه المدَّة.

20. تتحرَّكُ سيّارةٌ بتعجيلٍ مقدارُه $+0.80\ m/s^2$ بدءًا من سرعةٍ ابتدائيةٍ +7.0 m/s ولمدةٍ 2.0 s. جِدْ سرعتَها النهائية v_f.

21. تنطلقُ سيّارةٌ من السكونِ بتعجيلٍ مقدارُه $-3.00\ m/s^2$.

أ. ما سرعتُها بعدَ مضيِّ 5.0 s؟

ب. ما إزاحتُها بعد مضيِّ 5.0 s؟

22. تنطلقُ سيّارةٌ من السكونِ بتعجيلٍ مقدارُه $+1.50\ m/s^2$ لمدةٍ 5.0 s. يضغطُ السائقُ مكابحَ السيّارةِ فتتباطأُ بتعجيلٍ مقدارُه $-2.1\ m/s^2$ لمدةٍ 3.0 s.

أ. ما سرعةُ السيّارةِ عند نهايةِ مرحلةِ الفرملة؟

ب. ما المسافةُ التي تكونُ السيّارةُ قد قطعتْها منذُ بدءِ الرحلة؟

23. ينزلقُ جسمٌ نزولاً على تلَّةٍ بتعجيلٍ مقدارُه $1.40\ m/s^2$ بدءًا من السكون. ما المسافةُ التي يجبُ أن يقطعَها لتصلَ سرعتُه إلى $7.00\ m/s$؟

24. يبحرُ مركبٌ شراعيٌّ في بيروتَ من حالةِ السكونِ بتعجيلٍ مقدارُه $+0.21\ m/s^2$ مسافةَ $280\ m$.

أ. جِدْ مقدارَ السرعةِ النهائيةِ للمركب.

ب. جِدِ الزمنَ اللازمَ لقطعِ تلكَ المسافة.

25. يتحرَّكُ مِصْعدٌ إلى أعلى بسرعةٍ مقدارُها $1.20\ m/s$. يبدأُ بعدَها بتعجيلٍ متَّجهٍ إلى أسفلَ مقدارُه $0.31\ m/s^2$ ولمسافةِ $0.75\ m$. ما سرعةُ المصعدِ النهائيةِ؟

السقوطُ الحرُّ للأجسام

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

26. قُذِفتْ كرةٌ رأسيًّا إلى أعلى،

أ. ماذا يحدثُ لسرعةِ الكرةِ وهي في الهواءِ؟

ب. ما سرعتُها عندَ أقصى ارتفاعٍ لها؟

ج. ما تعجيلُها عندَ أقصى ارتفاعٍ لها؟

د. ما تعجيلُها قبيلَ وصولِها إلى الأرضِ؟

هـ. هل يزدادُ تعجيلُها أم ينقصُ أم يبقى ثابتًا؟

27. يُظهرُ **الشكلُ 1-23** صورةً ستروبوسكوبيةً لكرتَيْنِ أُسقطتا في الوقتِ نفسِه. الكرةُ إلى اليسارِ مُصْمَتةٌ، أما كرةُ الطاولةِ إلى اليمينِ فمجوَّفة. حلِّلْ حركةَ الكرتَيْنِ مستعملاً السرعةَ والتعجيلَ.



الشكل 1-23

28. يرمي مهرِّجُ سيركٍ كرةً في الهواءِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ v_i. ويُسقطُ مهرِّجٌ آخرُ كرةً في اللحظةِ نفسِها. قارنْ تعجيلَ الكرتَيْنِ وهما في الهواءِ.

29. تُقذَفُ باقةُ وردٍ رأسيًّا إلى أعلى. ندرُسُ حركةَ الباقةِ خلالَ فترةٍ زمنيةٍ معيَّنة.

أ. هل تبقى قيمةُ إزاحةِ الباقةِ هي نفسَها بغضِّ النظرِ عن موقعِ النقطةِ الأصلِ في نظامِ الإحداثيات؟

ب. هل تبقى قيمةُ السرعةِ المتوسِّطةِ للباقةِ هي نفسَها بغضِّ النظرِ عن موقعِ النقطةِ الأصلِ؟

ج. هل تبقى قيمةُ متوسِّطِ التعجيلِ للباقةِ هي نفسَها بغضِّ النظرِ عن موقعِ النقطةِ الأصلِ؟

مسائلُ تطبيقية

30. تسقطُ مطرقةٌ من يدِ عاملٍ من قمَّةِ برجٍ علوُّهُ $80.0\ m$. ما سرعةُ المطرقةِ عندَ وصولِها إلى الأرضِ؟

31. بدءًا من السكونِ وبتعجيلِ سقوطٍ حرٍّ ينقضُّ صقرٌ إلى أسفلَ على حمامةٍ تبعُدُ عن موقعِهِ الابتدائيِّ مسافةَ $76.0\ m$. كم من الزمنِ يلزمُهُ كي يصلَ إلى الحمامةِ التي يُفترضُ أنها باقيةٌ في مكانِها؟

32. قُذفَتْ كرةٌ من مستوى الأرضِ رأسيًّا إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها $25\ m/s$. أُسقِطت كرةٌ أخرى في اللحظةِ نفسِها من السكونِ من بناءٍ يعلو $15\ m$. كم من الزمنِ يمضي حتى تصلَ الكرتانِ على الارتفاعِ نفسِه؟

مراجعةٌ عامَّة

33. ما الزمنُ اللازمُ لدورانِ مركبةٍ فضائيةٍ حولَ الأرضِ دورةً واحدةً إذا كانَ متوسِّطُ سرعتِها $27\ 800\ km/h$؟ خذْ في الاعتبارِ أنَّ المركبةَ تحلِّقُ على ارتفاعِ $320.0\ km$ فوقَ سطحِ الأرض، وأنَّ نصفَ قُطرِ الأرضِ يبلغُ $6380\ km$.

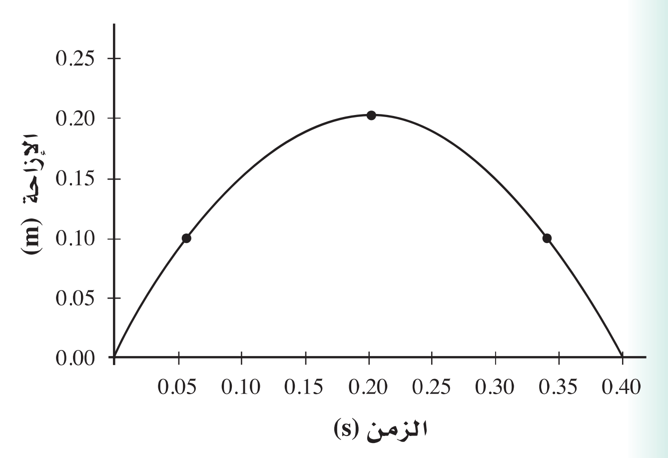
34. يبينُ **الشكلُ 1-24** الموقعَ الرأسيَّ بالنسبةِ إلى الزمنِ لكرةٍ قذفَتْ إلى أعلى في الهواء.

أ. كمْ منَ الزمنِ يلزمُ الكرةَ لتصلَ إلى ارتفاعِها الأقصى؟

ب. كمْ من الزمنِ يلزمُ لتصلَ إلى نصفِ ارتفاعِها الأقصى؟

ج. أعطِ القيمةَ التقديريةَ للمَيْلِ $\Delta y / \Delta t$ في اللحظات: $t = 0.05\ s$ و$t = 0.10\ s$ و$t = 0.15\ s$ و$t = 0.20\ s$. ارسُمْ على ورقةِ رسمٍ بيانيٍّ نظامَ إحداثياتٍ تكونُ فيه السرعةُ (v) على محورِ y، والزمنُ (t) على محورِ x. عيِّنْ على الرسمِ مقاديرَ السرعةِ التقديريةِ بالنسبةِ إلى الزمن.

د. حدِّدْ، مستعملاً المنحنى الذي رسمتَهُ، تعجيلَ الكرة.



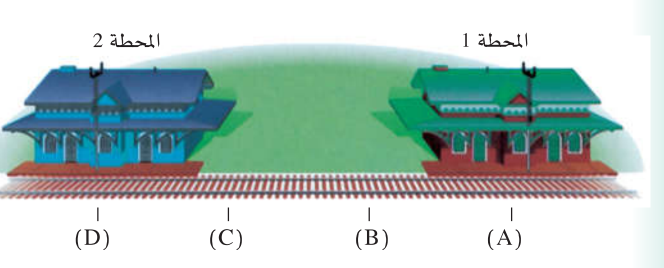
الشكل 1-24

35. يسافرُ قطارٌ بين محطتَيْن 1 و 2 كما في **الشكل 1-25**. ينطلقُ من السكونِ من المحطةِ 1 وبتعجيلٍ ثابتٍ بينَ النقطتَيْنِ A و B، بعدها يسيرُ بسرعةٍ منتظمةٍ بينَ النقطتَيْنِ B و C، ويتباطأُ أخيرًا بمعدَّلٍ ثابتٍ ليقفَ عندَ المحطةِ 2. المسافاتُ AB وBC و CD متساويةٌ، والزمنُ اللازمُ لقطعِ المسافةِ الكلِّيةِ بينَ المحطتَيْنِ هو 5.00 min. افترضْ أنَّ التعجيلَيْنِ الثابتَيْنِ متساويانِ في المقدارِ على الرغمِ من كونِهما متعاكسَيْنِ في الاتِّجاه. كم تستغرقُ رحلةُ القطار:

أ. بينَ النقطتَيْنِ (A) و (B)؟

ب. بينَ النقطتَيْنِ (B) و (C)؟

ج. بينَ النقطتَيْنِ (C) و (D)؟



الشكل 1-25

36. يقفُ ولدانِ على شرفةٍ ترتفعُ 19.6 m فوقَ الطريق. يرمي أحدُهما كرةً رأسيًّا إلى الأسفلِ بسرعةٍ مقدارها 14.7 m/s. وفي اللحظةِ نفسِها يرمي الآخرُ كرةً أخرى بالسرعةِ الابتدائيةِ نفسِها، لكنْ في اتجاهٍ رأسيٍّ إلى أعلى.

أ. ما الفارق الزمنيُّ بينَ الفترتَيْنِ اللتينِ تُمضيهما الكرتانِ في الهواءِ قبلَ وصولِهما إلى الأرض؟

ب. ما سرعةُ كلِّ كرةٍ عندَ وصولِها إلى الأرض؟

ج. كم تبلغُ المسافةُ الفاصلةُ بينَ الكرتَيْنِ بعدَ 0.800 s من إطلاقِهما؟

37. ينطلقُ صاروخٌ من السكونِ إلى أعلى بتعجيلٍ مقدارُه $+29.4\ m/s^2$. بعدَ مضيِّ 3.98 s ينفدُ الوقودُ من الصاروخ. كم يرتفعُ الصاروخُ فوقَ سطحِ الأرض؟

38. تنطلقُ سيّارتانِ في اتِّجاهِ الغربِ على طريقٍ مستقيمٍ، إحداهما بسرعةِ 85 km/h والأخرى بسرعةِ 115 km/h.

أ. افترضْ أنَّ السيّارتَيْنِ انطلقتا من النقطةِ نفسِها، ما الفترةُ الزمنيةُ الفاصلةُ بينَ وصولِ السيّارةِ الأسرعِ والسيّارةِ الأبطأِ إلى محطَّةٍ تبعُدُ 16 km عن نقطةِ الانطلاق؟

ب. على أيِّ بُعدٍ يجبُ أن تكونَ المحطَّةُ لكي تسبقَ السيّارةُ الأسرعُ السيّارةَ الأبطأ بـ 15 min؟

39. أفلتَتْ حقيبةُ إسعافاتٍ أوّليةٍ وسقطَتْ من متسلِّقِ جبالٍ يهبطُ بسرعةِ 1.3 m/s. كم تبلغُ سرعةُ الحقيبةِ بعدَ 2.5 s من إفلاتِها؟ وكم تكونُ المسافةُ بينَها وبينَ المتسلِّقِ عندَ تلكَ اللحظة؟

40. أفلتَتْ سمكةٌ من فمِ طائرٍ بجعٍ يطيرُ إلى أعلى بسرعةِ 0.50 m/s.

أ. كم تكونُ سرعةُ السمكةِ بعدَ 2.5 s؟

ب. حدِّدْ بُعدَ السمكةِ عن الطائرِ بعد 2.5 s.

41. حارسُ متنزَّهٍ يقودُ سيارتَهُ بسرعةٍ مقدارُها 56 km/h. ويقفزُ غزالٌ إلى الطريقِ على مسافةِ 65 m أمامَ السيارة. ينتبهُ السائقُ بعد فترةٍ زمنيةٍ قصيرة t s (هي زمنُ ردِّ الفعل) فيضغطُ المكابحَ لإحداثِ تعجيلٍ مقدارُه $-3.0\ m/s^2$. ما القيمةُ القصوى لزمنِ ردِّ الفعلِ اللازمِ كي يتجنَّبَ السائقُ صدمَ الغزال؟

42. يمرُّ عدّاءٌ سرعتُهُ 30.0 m/s بمحاذاةِ سيّارةِ شرطةٍ في اللحظةِ التي تنطلقُ فيها السيّارةُ من السكونِ بتعجيلٍ مقدارُه $2.44\ m/s^2$.

أ. كمْ منَ الزمنِ يمرُّ قبلَ أن تتجاوزَ السيّارةُ العدّاء؟

ب. ما المسافةُ التي يقطعُها العدَّاءُ قبلَ أن تتجاوزَهُ السيّارة؟

43. تنطلقُ زلاّجةُ ثلوجٍ مزوَّدة بمحرِّكٍ من السكونِ على بحيرةٍ متجمِّدة بتعجيلٍ مقداره $+13.0\ m/s^2$. يُطفأ المحرِّكُ عند اللحظة t_1 وتتابعُ الزلاّجةُ حركتَها بسرعة v حتى اللحظة t_2. خلالَ هذه الفترةِ تنزلقُ الزلاّجةُ مسافةَ 5.30×10^3 m خلالَ زمن 90.0 s. جدْ t_1، t_2، v.

44. عند إشارة 5800 m، تبدأ الزلاّجةُ في السؤالِ السابقِ تباطؤها بتعجيل $-7.0\ m/s^2$. استعملْ إجابتَك عن السؤالِ 43 للإجابةِ عن السؤالَيْن التاليَيْن:

أ. أين يكونُ موقعُ الزلاّجةِ عند توقُّفِها؟

ب. كم تستغرقُ الزلاّجةُ لكي تتوقَّف؟

45. أُطلِقتْ كرةُ مضربٍ بسرعةِ $+10.0\ m/s$ في اتِّجاهِ اليمين، فاصطدمَتْ بجدارٍ وارتدَّتْ في الاتِّجاهِ المعاكس بسرعةِ $-8.0\ m/s$. استغرقَ التصادمُ فترةً زمنيةً مقدارُها 0.012 s، ما متوسِّطُ التعجيلِ للكرةِ لدى اصطدامِها بالجدار؟

46. أثناءَ هبوطِ المظليِّ بسرعةٍ مقدارُها 10.0 m/s، يفلتُ حذاؤهُ من ارتفاع 50.0 m.

أ. متى يصلُ الحذاءُ إلى الأرض؟

ب. كم تكونُ سرعةُ الحذاءِ لحظةَ وصولِهِ إلى الأرض؟

47. يقفُ متسلِّقُ جبالٍ على تلَّةٍ ترتفعُ 50.0 m فوقَ بركةِ ماءٍ ساكن. يقذفُ حجرينِ رأسيًّا، تفصلُ بينَ لحظتَي إلقاءِ الواحدِ والآخرِ ثانيةٌ واحدة. يلاحظُ أنَّهما ارتطما بسطحِ الماءِ في اللحظةِ نفسِها، علمًا بأنَّ الحجرَ الأولَ قُذِفَ بسرعةٍ ابتدائيةٍ $+2.0\ m/s$.

أ. ما الزمنُ الفاصلُ بين إلقاءِ الحجرِ الأولِ ووصولِ الحجرَيْنِ إلى الماء؟

ب. ما السرعةُ الابتدائيةُ للحجرِ الثاني عندَ قذفِه؟

ج. ما سرعةُ كلٍّ من الحجرينِ عندَ وصولِهما معًا إلى سطحِ الماء؟

المشاريعُ والتقاريرُ

1. هل يمكنُ لمركبٍ يسيرُ في اتِّجاهِ الغربِ أن يتسارعَ في اتِّجاهِ الشرق؟ ماذا يحدثُ لسرعةِ المركب؟ أعطِ أمثلةً على أجسامٍ أخرى تتسارعُ في اتِّجاهٍ معاكسٍ لاتِّجاهِ سيرِها، وليكنْ لأحدِ هذه الأمثلةِ قِيَمٌ رقمية. ارسُمْ منحنياتٍ ومخطَّطاتٍ توضيحية.

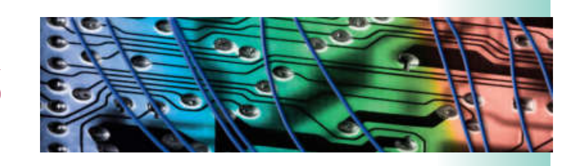
2. في مرَّةٍ قادمةٍ تسافرُ فيها بسيّارةٍ، سجِّلْ، عدَّةَ مرّاتٍ، ولمدَّةِ عشرِ دقائقَ، الأرقامَ الظاهرةَ على اللوحةِ أمامَ السائق، كالساعةِ وعدّادِ السرعةِ وعدّادِ المسافةِ وغيرِها. اكتبْ تقريرًا عن حركةِ السيارةِ يتضمَّنُ خرائطَ وجداولَ ورسومًا بيانية. تبادَلْ هذا التقريرَ مع صديقٍ لكَ كانَ في رحلةٍ أخرى. حاولْ أن تعرفَ تفاصيلَ رحلتِهِ من خلالِ تقريرِه.

3. رُمِيَ حجرانِ من أعلى تلَّةٍ في الوقتِ نفسِهِ وبالسرعةِ نفسِها، أحدُهما إلى أعلى والآخرُ إلى أسفل. أيُّ الحجرَيْنِ (إن سبقَ الآخرَ) يصلُ إلى الأرضِ أوّلاً؟ أيهما يصلُ إلى الأرضِ بسرعةٍ أكبر (إن وصلَ قبل)؟ في نقاشٍ ضمنَ مجموعةٍ، ادعَمْ توقُّعاتِكَ بأفضلِ البراهين. أعطِ قيمًا رقميةً للمسألةِ وحُلَّها لتفحصَ مدى صحَّةِ توقُّعاتِك.

4. قُم ببحثٍ حولَ القيمِ المختلفةِ لسرعاتِ وتعجيلاتِ أجسامٍ مختلفة. أعطِ عدَّةَ أمثلةٍ على بعضِ الحيواناتِ وبعضِ وسائلِ النقلِ والسباقاتِ الرياضيةِ والزحفِ القاريِّ والضوءِ والجُسَيْماتِ الأوّليةِ والكواكب. رتِّبِ القيمَ التي حصلتَ عليها واعْرِضها على لوحةٍ كبيرة.

5. نفِّذِ البحثَ الذي قامَ به غاليليو على الأجسامِ الساقطة. ماذا أرادَ غاليليو أن يثبت؟ أيَّ آراءٍ أو نظرياتٍ أرادَ أن يدحض؟ ما الأدلَّةُ التي استعملَها لإقناعِ الآخرينَ بصحَّةِ آرائه؟ هل اعتمدَ على التجربةِ والملاحظة؟ أم اعتمدَ المنطقَ وطرائقَ أخرى؟

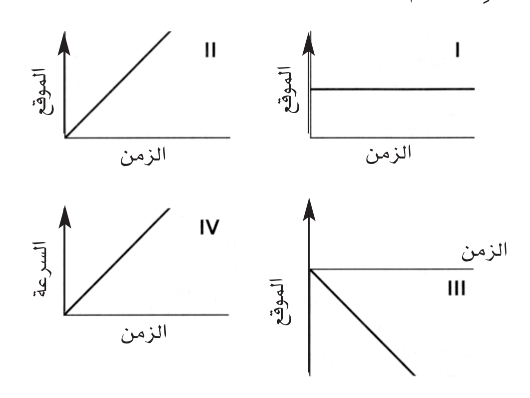
6. تتطلَّبُ دراسةُ الأنواعِ المختلفةِ من الحركةِ في الطبيعةِ أجهزةً لقياسِ الفتراتِ الزمنية. حضِّرْ عرضًا لنوعٍ معيَّنٍ من أنواعِ الساعات، كالساعاتِ المائيةِ أو الرمليةِ أو البندوليةِ أو ساعاتِ الرياحِ أو الساعات الذرِّيةِ أو البيولوجية. من الذي اخترعَ أو اكتشفَ الساعة؟ أيَّ مقدارٍ من الزمنِ تقيس؟ ما المبادئُ أو الظواهرُ التي تشكِّلُ الأساسَ لكلِّ نوعٍ من الساعات؟ هل يمكنُ ضبطُها؟



تقويمُ الفصل 1

اختيارٌ من متعدِّد

استعملِ الرسومَ البيانيَّةَ أدناهُ للإجابةِ عن الأسئلة 1-3.



1. أيٌّ من الرسومِ يمثِّلُ حركةَ جسمٍ يتحرَّكُ بسرعةٍ ثابتةٍ وموجبة؟

أ. I   ج. III

ب. II   د. IV

2. أيٌّ من الرسومِ يمثِّلُ حركةَ جسمٍ ساكن؟

أ. I   ج. III

ب. II   د. IV

3. أيٌّ من الرسومِ يمثِّلُ حركةَ جسمٍ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابتٍ وموجب؟

أ. I   ج. III

ب. II   د. IV

4. تنطلقُ حافلةٌ من مدينةٍ إلى أخرى في رحلةٍ تستغرقُ 5.2 h وبسرعةٍ متوسِّطةٍ مقدارُها 73 km/h باتِّجاهِ الجنوب. ما إزاحةُ الحافلة؟

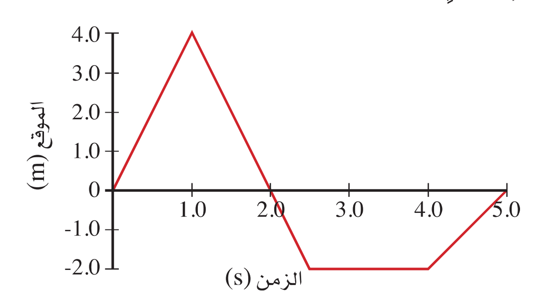
أ. 73 km باتِّجاهِ الجنوب.

ب. 370 km باتِّجاهِ الجنوب.

ج. 380 km باتِّجاهِ الجنوب.

د. 14 km/h باتِّجاهِ الجنوب.

استعملْ منحنى الموقعِ – الزمنِ البيانيِّ لسنجابٍ يسيرُ على حبلٍ غسيلٍ لتجيبَ عن السؤالَيْن 5 و 6.



5. ما إزاحةُ السنجابِ عند t = 3.0 s؟

أ. –6.0 m

ب. –2.0 m

ج. +0.8 m

د. +2.0 m

6. ما السرعةُ المتوسِّطةُ للسنجابِ في الفترةِ الزمنيةِ بين 0.0 s و 3.0 s؟

أ. –2.0 m/s

ب. –0.67 m/s

ج. 0.0 m/s

د. +0.53 m/s

7. أيٌّ من النصوصِ التاليةِ يصحُّ في التعجيل؟

أ. إشارةُ التعجيلِ هي دائمًا إشارةُ الإزاحةِ نفسُها.

ب. إشارةُ التعجيلِ هي دائمًا إشارةُ السرعةِ نفسُها.

ج. تعتمدُ إشارةُ التعجيلِ على كلٍّ من اتّجاهِ الحركةِ وكيفيَّةِ تغيُّرِ السرعة.

د. إشارةُ التعجيلِ موجبةٌ دائمًا.

8. تبدأُ كرةٌ بالتدحرجِ من السكونِ من على تلَّةٍ بتعجيلٍ مقدارُه $3.3\ m/s^2$. إذا تسارعَتِ الكرةُ لمدَّةِ 7.5 s، فما المسافةُ التي تقطعُها خلالَ هذه الفترة؟

أ. 12 m

ب. 93 m

ج. 120 m

د. 190 m

9. أيٌّ من النصوص التاليةِ يصحّ في كرةٍ تُطلَقُ رأسيًّا إلى أعلى؟

أ. تكونُ إشارةُ تعجيلِ الكرةِ سالبةً أثناءَ الصعودِ وموجبةً أثناءَ السقوط.

ب. تكونُ إشارةُ تعجيلِ الكرةِ موجبةً أثناءَ الصعودِ وسالبةً أثناءَ السقوط.

ج. يكونُ تعجيلُ الكرةِ صفرًا أثناءَ الصعودِ وإشارتُهُ موجبةً أثناءَ السقوط.

د. يكونُ تعجيلُ الكرةِ ثابتًا في فترتَي الصعودِ والسقوط.

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

10. اشرحْ، في جملةٍ أو جملتَيْن، الفرقَ بينَ الإزاحةِ والمسافةِ المقطوعة.

11. يظهرُ الرسمُ البيانيُّ أدناهُ موقعَ عدّاءٍ في فتراتٍ مختلفةٍ من السباقِ. استعملِ الرسمَ لحسابِ إزاحةِ العدّاءِ وسرعتِه المتوسِّطة.

أ. خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ بين $t = 0.0$ min و $t = 10.0$ min.

ب. خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ بين $t = 10.0$ min و $t = 20.0$ min.

ج. خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ بين $t = 20.0$ min و $t = 30.0$ min.

د. طوالَ فترةِ السباق.

12. جسمٌ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابتٍ وسالبٍ، ارسمْ له:

أ. الخطَّ البيانيَّ لمنحنى (الموقع – الزمن).

ب. الخطَّ البيانيَّ لمنحنى (السرعة – الزمن).

افترض، في الحالتَيْن أعلاه، أنَّ الجسمَ قد بدأ الحركةَ بسرعةٍ موجبةٍ وإزاحةٍ موجبةٍ بالنسبةِ إلى نقطةِ الأصل.

13. تنطلقُ سيّارةٌ على مسارٍ مستقيمٍ بسرعةٍ ابتدائيَّة $+3.0$ m/s.

أ. إذا تسارعَت السيّارةُ بتعجيل $+0.50$ m/s^2 لمدَّةِ 7.0 s، كم تصبحُ سرعتُها النهائيَّة؟

ب. إذا تباطأتِ السيّارةُ بتعجيل -0.60 m/s^2 بدءًا من سرعتِها الابتدائيَّة $+3.0$ m/s، فكم يلزمُ من الزمنِ لتتوقَّفَ تمامًا؟

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوّلة

14. تسيرُ سيّارةٌ باتِّجاهِ الشرقِ على طريقٍ مستقيمٍ فتزيدُ سرعتُها بشكلٍ منتظمٍ من 16 m/s إلى 32 m/s خلالَ فترة 10.0 s.

أ. ما تعجيلُ السيّارة؟

ب. ما السرعةُ المتوسِّطةُ للسيّارةِ خلالَ هذه الفترة؟

ج. ما المسافةُ التي قطعَتْها السيّارةُ خلالَ فترةِ التعجيل؟

15. أُطلقَتْ كرةٌ رأسيًّا إلى أعلى بسرعة 25.0 m/s من ارتفاع 2.0 m فوقَ سطحِ الأرض.

أ. ما الزمنُ اللازمُ لوصولِ الكرةِ إلى أعلى نقطة؟

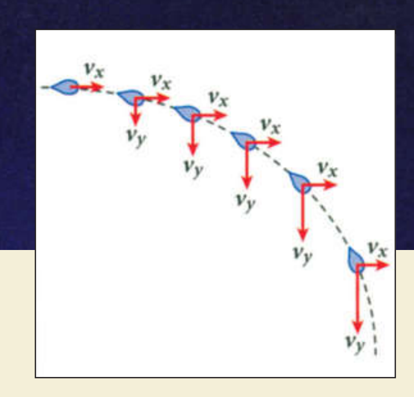
ب. كم من الزمنِ يستغرقُ مكوثُها في الهواءِ قبلَ وصولِها إلى الأرض؟



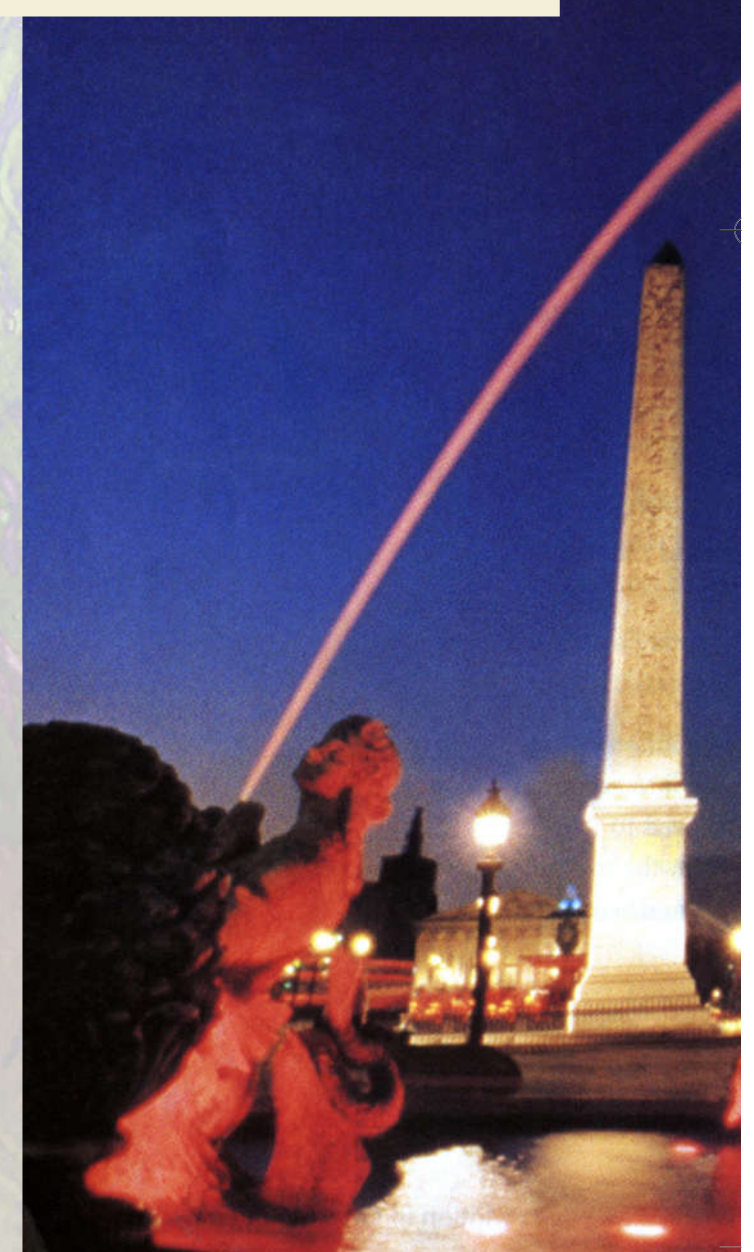
الفصـــــل 2

الحركةُ في مستوٍ والمتَّجهات

Two-Dimentional Motion and Vectors



أيُّ جسيمٍ يُقذفُ في الهواءِ، يتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ قوَّةِ الجاذبيَّةِ على مسارِ قطعٍ مكافئ، إذا أهملْنا قوَّةَ مقاومةِ الهواء. قطراتُ الماءِ في النافورةِ المجاورةِ هي مثالٌ على ذلك. يمكنُ لمتَّجهِ سرعةِ جسيمٍ يتحرَّكُ في بُعدَيْن، كما لواحدةٍ من قطراتِ الماء، أن يُفصلَ إلى مركَّبَتَيْن إحداهما أفقيَّةٌ والأخرى شاقوليَّةٌ، كما في الرسمِ المجاور.



ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

في هذا الفصلِ، سوف تستعملُ المتَّجهاتِ لتحليلِ الحركةِ في بُعدَيْن ولحلِّ مسائلَ على الأجسامِ التي تُقذفُ في الهواء.

ما أهميَّتُهُ

بعد أن تتعلَّمَ تحليلَ الحركةِ في بُعدَيْن، يمكنُك التنبُّؤُ بالنقاطِ التي ستسقطُ عندَها الأجسامُ المقذوفةُ، بناءً على سرعتِها وموقعِها الابتدائيَّيْن.

محتوى الفصل 2

القسم 1-2

مدخلٌ إلى المتَّجَهات
Introduction to Vectors

1-2 أهدافُ القسم

- يميزُ بين الكمِّيات الاتِّجاهيّةِ والكمِّيات العددية.
- يجمعُ ويطرحُ المتَّجَهاتِ بيانيًّا.
- يضربُ المتَّجَهاتِ ويقسمُها على كمِّياتٍ عددية.

الكمِّيّاتُ العدديَّةُ والكمِّيّاتُ الاتِّجاهيَّة

في فصل «الحركةُ في بُعدٍ واحد» كانت الدراسةُ محصورةً في اتِّجاهَيْن فقط: إلى الأمامِ وإلى الوراء. وصفْنا هذَيْن الاتِّجاهَيْن من الحركةِ بإشارتَيْن موجبةٍ وسالبةٍ على التوالي. تختصُّ هذه الطريقةُ بالحركةِ على خطٍّ مستقيم. يشرحُ هذا الفصلُ طريقةً لوصفِ حركةِ الأجسامِ التي لا تتحرَّكُ على خطٍّ مستقيم.

الكمِّياتُ الاتِّجاهيَّةُ تدلُّ على اتِّجاهٍ بعكسِ الكمِّيّات العدديَّة

تُصنَّفُ الكمِّياتُ الفيزيائيةُ الواردةُ في هذا الكتابِ إلى نوعَيْن: كمِّياتٍ عدديَّةٍ وكمِّياتٍ اتِّجاهيَّة. **فالكمِّيةُ العدديةُ** scalar quantity يمكنُ تحديدُها تمامًا بوساطةِ مقدارِها ووحدةِ قياسٍ مناسبة، أي لها مقدارٌ وليسَ لها اتِّجاه. ومن أمثلةِ الكمِّياتِ العدديَّةِ مقدارُ السرعة، والحجمُ، والعددُ، كعددِ صفحاتِ هذا الكتاب. أما **الكمِّيةُ الاتِّجاهيَّةُ** vector quantity فلها مقدارٌ واتِّجاه. في الفصلِ الأولِ لاحظْنا أنَّ الإزاحةَ هي من الكمِّياتِ الاتِّجاهيَّةِ لذلكَ ينبغي لقائدِ الطائرةِ الذي يخطِّطُ لرحلةٍ معيَّنةٍ أن يعرفَ بُعدَ المنطقةِ التي يقصدُها واتِّجاهَها. ولوصفِ سرعةِ عصفورٍ يجبُ أن نذكرَ مقدارَ السرعةِ (3.5 m/s مثلاً) واتِّجاهَها (شمالَ شرقٍ، مثلاً)، لأنَّ السرعةَ كمِّيةٌ اتِّجاهيَّة. والتعجيلُ كذلكَ من الكمِّياتِ الاتِّجاهيَّةِ (كما وردَ في الفصلِ الأول).

الكمِّيةُ العددية

الكمِّيةُ التي لها مقدارٌ وليسَ لها اتِّجاه.

الكمِّيةُ الاتِّجاهيَّة

الكمِّيةُ التي لها مقدارٌ واتِّجاه.

تُمثَّلُ الكمِّياتُ الاتِّجاهيَّةُ برموز

تمثَّلُ الكمِّياتُ الفيزيائيةُ عادةً برموز، فمثلاً نمثِّلُ الزمنَ بالرمزِ t. لمساعدتِكَ على التمييزِ بينَ الرموزِ التي تدلُّ على الكمِّياتِ الاتِّجاهيَّةِ والأخرى التي تدلُّ على الكمِّياتِ العدديةِ نضعُ، في هذا الكتابِ، سهمًا فوقَ رمزِ الكمِّيّةِ الاتِّجاهيَّة، بينما نستعملُ الرموزَ *المائلةَ* للدلالةِ على الكمِّياتِ العددية. إنْ أردتَ وصفَ مقدارِ سرعةِ العصفورِ من دونِ تحديدِ اتِّجاهِها تكتبُ: $v = 3.5\ m/s$، أما السرعةُ التي تشتملُ على الاتجاهِ فتُكتبُ: $\vec{v} = 3.5\ m/s$ في اتِّجاهِ الشمالِ الشرقي.

وتُمثَّلُ الكمِّيةُ الاتِّجاهيَّةُ بيانيًّا بسهمٍ مستقيمٍ موجَّهٍ يتناسبُ طولُهُ طردًا مع مقدارِ الكمِّية، ويدلُّ اتِّجاهُهُ على اتجاهِ الكمِّية، كما في **الشكل 1-2**، حيثُ يمثِّلُ السهمانِ سرعتَي لاعبَيْ كرةِ القدمِ أثناءَ انطلاقِهما نحوَ الكرة. ولأنَّ اللاعبَ الذي في جهةِ اليمينِ يعدو بسرعةٍ أكبرَ يمثِّلُ سرعتَهُ سهمٌ أطولُ من السهمِ الذي يمثِّلُ سرعةَ اللاعبِ الذي في جهةِ اليسار.



الشكل 1-2
يمثِّلُ طولُ السهمِ مقدارَ السرعةِ لكلٍّ من لاعبَي الكرة.

متجهُ المحصِّلة يمثِّلُ جمعَ متَّجهَيْن أو أكثر

يُشترطُ عند جمعِ الكمِّياتِ الاتِّجاهيَّةِ أن يكونَ لها وحداتُ القياسِ نفسُها. فمثلاً ليسَ في جمعِ متَّجَهِ سرعةٍ ومتَّجَهِ إزاحةٍ أيُّ معنىً، لأنهما يمثِّلانِ كمِّيَّتينِ مختلفتَيْن. ومن الخطأِ أيضًا جمعُ إزاحتَيْنِ بوحداتِ قياسٍ مختلفة.

المحصِّلة
متَّجَهٌ يمثِّلُ حاصلَ جمعِ متَّجهَيْنِ أو أكثر.

في **القسم 1-1** من الفصل الأوَّل تمَّ جمعُ المتَّجهاتِ وطرحُها في بعدٍ واحد. تذكَّرْ مثالَ أبي بريصٍ الذي تسلَّقَ شجرةً من العلامةِ 20 cm إلى العلامةِ 80 cm على محورِ y، ومنها عادَ في الاتِّجاهِ المعاكسِ إلى العلامةِ 50 cm. لأنَّ جزءَيْ هذه الإزاحة متعاكسانِ، أمكنَ جمعُهما والحصولُ على إزاحةٍ كلِّيةٍ تساوي 30 cm إلى أعلى، تُسمَّى **المحصِّلة** resultant.

جمعُ المتَّجَهاتِ بيانيًّا

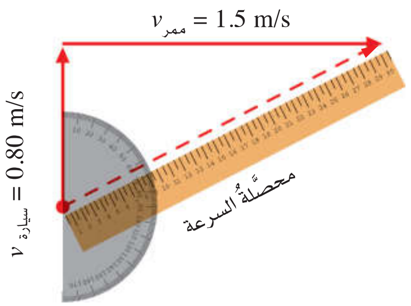
يسيرُ متعلِّمٌ، أثناءَ ذهابِهِ إلى المدرسة، أوَّلاً مسافةَ 1600 m إلى منزلِ صديقِه، ثم مسافةَ 1600 m إلى المدرسة، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 2-2**، حيثُ يشيرُ المتَّجهُ المتقطِّعُ إلى اتِّجاهِ الإزاحةِ الكلِّيةِ للمتعلِّمِ من بيتِهِ إلى المدرسة. ويمثِّلُ هذا المسارُ المباشرُ (ج) الجمعَ الاتجاهيَّ لإزاحةِ المتعلِّمِ من بيتِهِ إلى بيتِ صديقِهِ (أ) مع إزاحتِه من بيتِ صديقِهِ إلى المدرسة (ب). كيف يمكنُنا إيجادُ هذه المحصِّلة؟

إحدى طرائقِ حسابِ مقدارِ واتجاهِ إزاحةِ المتعلِّمِ الكلِّيةِ هي أن نرسُمَ المسارَ على ورقةٍ وفقَ مقياسٍ مناسب، كأن نمثِّلَ كلَّ 50 m من المسافةِ المقطوعةِ بـ 1 cm على الورقة. ارسُمْ أوَّلاً المتَّجَهَ الذي يمثِّلُ إزاحةَ المتعلِّمِ من بيتِهِ إلى بيتِ صديقِهِ بحسبِ الاتِّجاهِ الفعليِّ والمقياسِ المطلوب. بعدَها ارسُمِ المتَّجَهَ الذي يمثِّلُ سيرَهُ من بيتِ صديقِهِ إلى المدرسةِ وَضَعْ ذيلَ هذا المتَّجَهِ على رأسِ المتَّجَهِ الأوَّلِ بحسبِ الاتِّجاهِ والمقياسِ المطلوبَيْنِ أيضًا. يمكنُكَ الآنَ معرفةُ مقدارِ المحصِّلةِ بقياسِ طولِ المتَّجهِ الذي يبدأُ من ذيلِ المتَّجهِ الأوَّلِ وينتهي عندَ رأسِ المتَّجهِ الثاني. اضربْ طولَ هذا المتَّجَهِ في 50 (أو أيِّ مقياسٍ آخرَ تختارُه) فتحصُلَ على المقدارِ الحقيقيِّ بالمترِ لإزاحةِ المتعلِّمِ الكلِّيّة. يمكنُكَ تحديدُ اتجاهِ المحصِّلةِ باستعمالِ المنقلةِ لقياسِ الزاويةِ بينَ المتَّجهِ الأوَّلِ والمحصِّلة.

الشكل 2-2
متعلِّمٌ يسيرُ من منزلِهِ إلى منزلِ صديقِهِ (أ)، ثمَّ من منزلِ صديقِهِ إلى المدرسة (ب). يمكنُ إيجادُ محصِّلةِ إزاحةِ المتعلِّمِ (ج) باستعمالِ المسطرةِ والمنقلة.

خواصُّ المتَّجَهات

افترضِ الآنَ حالةً يؤثِّرُ فيها متَّجهانِ أو أكثرُ في نقطةٍ واحدة. عندَ حدوثِ ذلك يمكنُ إيجادُ المحصِّلةِ المتَّجهةِ التي لها تأثيرُ المتَّجهاتِ المختلفةِ نفسِها مجتمعة. تخيَّلْ سيّارةً-لعبةً تسيرُ بسرعةِ 0.80 m/s باتِّجاهٍ عموديٍّ عبرَ ممرٍّ متحرِّكٍ يسيرُ بسرعةِ 1.5 m/s، كما هو موضَّحٌ بيانيًّا في **الشكل 3-2**. كيفَ تحدِّدُ محصِّلةَ سرعةِ السيّارةِ من موقعِك؟ يمكنُ الاستعانةُ بالخواصِّ التاليةِ للمتَّجهات:



الشكل 3-2
إيجادُ محصِّلةِ متَّجهَيْنِ بيانيًّا بطريقةِ مثلَّثِ المتَّجهات.

1. يمكنُ في مخطَّطٍ نقلُ المتَّجهاتِ بشكلٍ مُوازٍ لها

لاحظْ أنَّ محصِّلةَ سرعةِ السيّارةِ أثناءَ سيرِها من مكانٍ في الممرِّ إلى مكانٍ آخرَ تكونُ مركَّبةً من سرعتَيْنِ مستقلَّتَيْن. يمكنُكَ رسمُ متَّجَهٍ ما في مكانٍ من المخطَّطِ ما دامَ موازيًا لاتِّجاهِهِ الأساسيّ. ويمكنُكَ أيضًا وضعُ ذيلِ متَّجَهٍ معيَّنٍ عندَ رأسِ متَّجَهٍ آخرَ ما دامَ لكلٍّ من المتجهَيْنِ المقدارُ نفسُهُ والاتِّجاهُ نفسُهُ. تُسمّى هذه الطريقةُ في تحديدِ المحصِّلةِ المتَّجهةِ في عمليةِ جمعِ المتَّجَهاتِ، بوضعِ ذيلِ متَّجهٍ فوقَ رأسِ متَّجَهٍ آخر، طريقةَ مثلَّثِ المتَّجَهات.

يمكنُ قياسُ مقدارِ المحصِّلةِ المتَّجهةِ باستعمالِ مسطرةٍ واستعمالِ المقياسِ الذي

هل تعلم؟

كلمةُ «متَّجَه» يستعملُها الطيّارونَ وملاّحو السفن. يرمزُ المتَّجَهُ بهذا المعنى إلى المسارِ المحدَّدِ المتَّبعِ الذي نحصلُ عليه بوساطةِ البوصلة.

تمَّ اختيارهُ، وقياسُ زاويتِها باستعمالِ منقلة. نتعلَّمُ في القسمِ التالي جمعَ المتَّجهاتِ بطريقةٍ سريعةٍ باستعمالِ طرائقِ الرياضياتِ والآلةِ الحاسبةِ بدلاً من المسطرةِ والمنقلة.

2. يمكنُ جمعُ المتَّجهاتِ وفقًا لأيِّ ترتيب

لا تعتمدُ عمليةُ جمعِ متَّجهَيْنِ أو أكثرَ على الترتيبِ الذي تتمُّ به عمليةُ الجمع. نوضحُ هذه الفكرةَ في حالةِ عدّاءٍ يشاركُ في سباقٍ في شوارعِ المدينة، كما في **الشكل 2-4**. بغضِّ النظرِ عن المسارَيْنِ المختلفَيْنِ اللذينِ يتبعُهما العدّاءُ في الحالتينِ (أ) و (ب)، فإنه يقطعُ الإزاحةَ الكلِّيةَ نفسَها $\vec{d}$. لذلك لا يعتمدُ الجمعُ الاتِّجاهيُّ لمتَّجهَينِ أو أكثرَ على طريقةِ ترتيبِ المتَّجهاتِ المرادِ جمعُها ما دامَ مقدارُ واتِّجاهُ كلٍّ منها لا يتغيَّر.

3. لطرحِ مُتَّجهٍ اجمعْ مع سالبِه

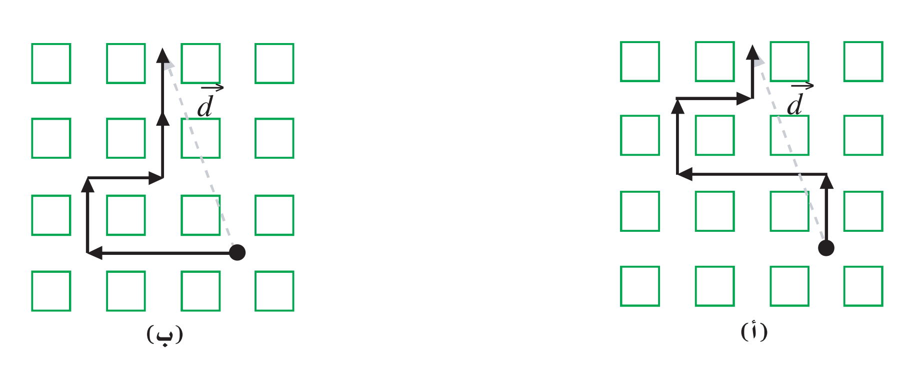
نستعملُ في طرحِ المتَّجهاتِ تعريفَ سالبِ المتَّجهِ أو المتَّجهِ المعاكس. أما سالبُ المتَّجهِ فهو متَّجهٌ له مقدارُ المتَّجهِ الأصليِّ نفسِه لكنْ في الاتِّجاهِ المعاكس. إنَّ سالبَ سرعةِ السيّارةِ 30 m/s باتِّجاهِ الغربِ هو المتَّجهُ 30 m/s- باتِّجاهِ الغربِ، أو المتَّجهُ 30 m/s باتِّجاهِ الشرق. ويصبحُ الجمعُ الجبريُّ لمتَّجهٍ مع سالبِهِ صفرًا.

$$v + (-v) = 30\ \text{m/s} + (-30\ \text{m/s}) = 30\ \text{m/s} - 30\ \text{m/s} = 0\ \text{m/s}$$

كذلكَ يكونُ الجمعُ الاتِّجاهيُّ لمتَّجهٍ مع سالبِهِ صفرًا.

$$\vec{v} + (-\vec{v}) = \vec{0}$$

لكن في حالةِ جمعِ المتَّجهاتِ في بُعدَيْن، يمكنُ جمعُ متَّجهٍ سالبٍ مع متَّجهٍ موجبٍ لا يقعُ على الخطِّ نفسِه، وذلك باعتمادِ طريقةِ مثلَّثِ المتَّجهات.



الشكل 2-4

الإزاحةُ $\vec{d}$ للعدّاءِ تبقى هي نفسَها بغضِّ النظرِ عن المسارَيْنِ (أ) و(ب) اللذَيْنِ سلكهما.

4. ضربُ المتَّجَهاتِ في كمِّياتٍ عدديةٍ أو قسمتُها عليها يُعطي كمِّياتٍ اتِّجَاهيَّة

هناكَ عملياتٌ في الرياضياتِ تُضربُ فيها المتَّجهاتُ في متَّجهاتٍ أخرى، إلاّ أنَّ ذلك يقعُ خارجَ نطاقِ هذا الكتاب. يهتمُّ هذا الكتابُ بالمتَّجهاتِ التي تُضرَبُ في كمِّياتٍ عدديةٍ وتعطي كمِّياتٍ اتِّجاهيَّة. مثلاً إذا أذعنَ سائقُ أجرةٍ لراكبٍ يطلُبُ إليه مضاعفةَ سرعتِه فإنَّ السرعةَ الأساسيةَ $\vec{v}$ تُضربُ في العددِ 2، وتكونُ النتيجةُ كمِّيةً اتِّجاهيَّةً مقدارُها ضعفا مقدارِ السرعةِ الأصليةِ أي v 2 ويكونُ اتِّجاهُها هو نفسَهُ أي $2\vec{v}$.

لكن إذا طُلبَ إلى سائقٍ آخرَ أن يضاعفَ السرعةَ بالاتِّجاهِ المعاكسِ فإنَّ ذلكَ مكافئٌ لضربِ السرعةِ في الكمِّيةِ العدديةِ 2–، وتكونُ النتيجةُ كمِّيةً اتِّجاهيَّةً لها ضعفا مقدارِ السرعةِ الأساسيةِ وعكسُ اتِّجاهِها، أي $-2\vec{v}$.

مراجعةُ القسم 1-2

1. أيٌّ منَ الكمياتِ التاليةِ اتِّجاهيَّةٌ؟ وأيٌّ منها عددية؟

أ. تعجيلُ طائرةٍ عندَ إقلاعِها.

ب. عددُ المسافرينَ في الطائرة.

ج. مدَّةُ الرحلة.

د. إزاحةُ الرحلة.

هـ. كمِّيةُ الوقودِ اللازمةُ للرحلة.

2. يقطعُ متزلِّجٌ أفقيًّا مسافةً 85 m، ثم يقطعُ 45 m بزاويةِ 30.0^{o} فوقَ الأفقي. ما الإزاحةُ من نقطةِ انطلاقِه؟ استعمل الرسمَ البيانيّ.

3. يضبطُ طيّارٌ لوحاتِ التحكُّمِ في الطائرةِ كي يطيرَ بسرعةِ 2.50×10^{2} km/h شمالاً. إذا هبَّتِ الرياحُ بسرعةِ 75 km/h نحوَ الجنوبِ الشرقيِّ، فكم تكونُ محصِّلةُ سرعةِ الطائرة؟ استعملِ الرسمَ البيانيّ.

4. احسبْ محصِّلةَ سرعةِ الطائرةِ في السؤالِ 3 إذا خفَّضَ الطيارُ السرعةَ إلى نصفِ مقدارِها وبقيتْ سرعةُ الرياحِ على حالِها. استعملِ الرسمَ البيانيّ.

5. **تفكيرٌ ناقد** تتدفَّقُ المياهُ من النوافيرِ ضمنَ دورةٍ مغلقةٍ حيثُ تقطعُ كلُّ قطرةِ ماءٍ 85 m في مسارٍ معيَّنٍ وتعودُ إلى نقطةِ انطلاقِها. ما إزاحةُ قطرةِ الماءِ أثناءَ دورةٍ كاملة؟

القسم 2-2

عملياتُ المتَّجَهات

Vector Operations

2-2 أهدافُ القسم

- يحدِّدُ أنظمةَ إحداثيات مناسبةَ لحلِّ مسائلَ تشتملُ على متَّجهات.
- يطبِّقُ نظريةَ فيثاغورس ودالّةَ الظلّ tangent ليحسبَ مقدارَ محصِّلةِ متَّجِهةٍ واتّجاهَها.
- يحلِّلُ المتَّجهاتِ إلى مركَّباتٍ باستعمالِ دالَّتَي الجيبِ sine وجيبِ التمام cosine.
- يجمعُ المتَّجهاتِ غيرَ المتعامدة.

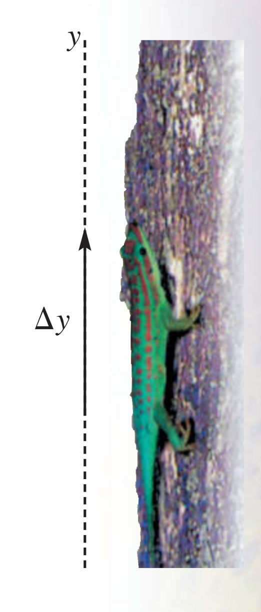
أنظمةُ الإحداثياتِ في بُعْدَين

اعتبرْنا في الفصلِ الأوّلِ أنَّ حركةَ أبي بريص في تسلُّقِ الشجرةِ حركةٌ على المحورِ y، حيث أُعطيَ اتِّجاهُ إزاحةِ أبي بريص على ذلكَ المحورِ إشارةً موجبةً أو سالبة. يمكنُ تمثيلُ إزاحةِ أبي بريص بسهمٍ على المحورِ y كما هو موضَّحٌ في **الشكل 2-5**. يعتبرُ استعمالُ المتَّجهاتِ في البُعدَيْن x و y إحدى الطرائقِ العمليةِ لتمثيلِ حركةِ جسمٍ معيَّن.

وإضافةُ محورٍ آخرَ لا تساعدُ فقط على وصفِ الحركةِ في بُعدَيْنِ إنما تسهِّلُ أيضًا تحليلَ الحركةِ في بُعدٍ واحد. فمثلاً يمكنُ تحليلُ حركةِ طائرةٍ سرعتُها 300 m/s نحوَ الشمالِ الشرقيِّ بطريقتَيْنِ مختلفتَيْن. في الطريقةِ الأولى نديرُ نظامَ الإحداثيّاتِ بحيثُ يكونُ خطُّ سيرِ الطائرةِ على المحورِ y كما في **الشكل 2-6** (أ). وفي الطريقةِ الثانيةِ ندرسُ الحركةَ في نظامِ إحداثيّاتٍ ذي بُعدَيْن، حيث يتَّجهُ محوراهُ من الجنوبِ إلى الشمالِ ومنَ الغربِ إلى الشرقِ، كما في **الشكل 2-6** (ب).

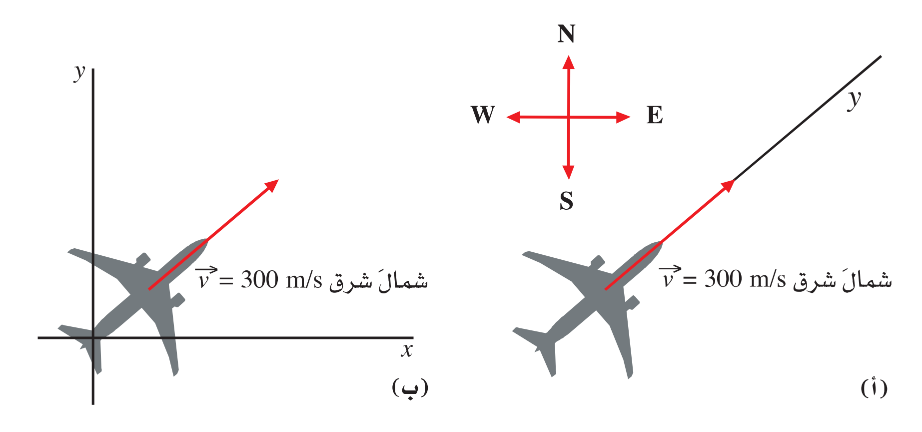
المشكلةُ في الطريقةِ الأولى هي أنَّ المحورَ يجبُ أن يدورَ في كلِّ مرّةٍ يتغيَّرُ فيها اتّجاهُ سيرِ الطائرة، كما يكونُ من الصعبِ وصفُ حركةِ طائرةٍ أخرى لا تسافرُ في اتّجاهِ الشمالِ الشرقيِّ نفسِه. لذلك غالبًا ما نختارُ المحورَيْنِ بحيثُ يكونُ الاتّجاهُ الموجبُ للمحورِ x نحوَ الشرقِ والاتّجاهُ الموجبُ للمحورِ y نحوَ الشمال، كما في **الشكل 2-6** (ب).

واختيارُ المحورِ y عموديًّا على الأرض، موازيًا لتعجيلِ السقوطِ الحرِّ، يسهِّل كذلك تحليلَ حركةِ الأجسامِ المقذوفةِ في الهواء.



الشكل 2-5

يمكنُ تمثيلُ إزاحةِ أبي بريص عند تسلُّقِهِ شجرةً بسهمٍ يتَّخذُ اتجاهَ المحورِ y.



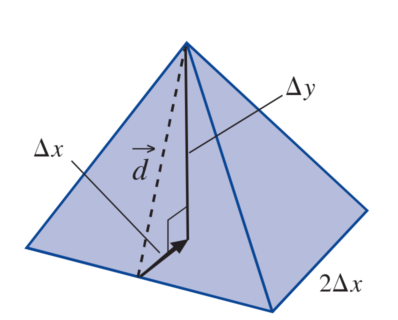
الشكل 2-6

يمكنُ تمثيلُ الطائرةِ المسافرةِ بسرعةِ 300 m/s باتّجاهِ الشمالِ الشرقيِّ، إما (أ) بالحركةِ على محورِ y الذي نختارُهُ باتّجاهِ الشمالِ الشرقيِّ، وإما (ب) بالحركةِ بزاويةِ 45° مع كلٍّ من المحورَيْن x و y المتَّجهَيْن من الغربِ إلى الشرقِ ومن الجنوبِ إلى الشمالِ على التوالي.

لا توجدُ قواعدُ محدَّدةٌ لكيفيةِ اختيارِ أنظمةِ الإحداثيّاتِ لحالاتٍ تشتملُ على متَّجهات. وما دامَ أسلوبُ الحلِّ متماسكًا ودقيقًا فإنَّ الجوابَ النهائيَّ لا يعتمدُ على النظامِ الذي نختارُه. إنَّ الاختيارَ الأفضلَ لاتِّجاهِ المحورَيْن يجعلُ حلَّ المسألةِ أسهل.

تحديدُ مقدارِ المحصِّلةِ واتِّجاهِها

تمَّ إيجادُ مقدارِ محصِّلةٍ واتِّجاهِها في **القسم 2-1** بطريقةِ الرسمِ البيانيّ. تتلخَّصُ سلبياتُ هذه الطريقةِ بما تستغرقُه من زمن. وتعتمدُ دقَّةُ الإجابةِ على دقَّةِ الرسمِ والقياس. هناكَ طريقةٌ أفضلُ وأسهلُ لجمعِ المتَّجهاتِ تُستعمل فيها نظريةُ فيثاغورس ودالَّةُ الظلّ.



الشكل 2-7
يمكنُنا حسابُ مقدارِ الإزاحةِ الكليةِ d للسائحِ إذا عرفْنا ارتفاعَ الهرمِ Δy وعرضَ قاعدتِهِ $2\Delta x$، ذلكَ لأنَّ قاعدةَ الهرمِ وارتفاعَهُ متعامدان.

استعمالُ نظريَّةِ فيثاغورس لإيجادِ مقدارِ المحصِّلة

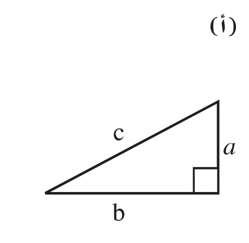
تخيَّلْ سائحًا يتسلَّقُ هرمًا في مصر. يعرفُ السائحُ ارتفاعَ الهرمِ وعرضَ قاعدتِه، ويريدُ أن يعرفَ المسافةَ التي يقطعُها على خطٍّ مستقيمٍ عند تسلُّقِ الهرمِ من أسفلِه إلى قمَّتِه. نلاحظُ في **الشكل 2-7** أنَّ مقدارَ المركَّبةِ الرأسيةِ لإزاحةِ السائحِ هي ارتفاعُ الهرمِ Δy، في حين أنَّ مقدارَ مركَّبَتِها الأفقيةِ هي المسافةُ من أحدِ أضلاعِ الهرمِ إلى منتصفِ قاعدتِه، أي نصفُ عرضِه Δx. لاحظْ أنَّ هذَيْنِ المتَّجهَيْنِ متعامدانِ ويمثِّلانِ مع الإزاحةِ مثلَّثًا قائمَ الزاوية. يشرحُ **الشكلُ 2-8** (أ) نظريةَ فيثاغورس التي تنصُّ على أنَّ مربَّعَ الوترِ (الضلعِ المقابلِ للزاويةِ القائمة) في أيِّ مثلَّثٍ قائمِ الزاويةِ يساوي حاصلَ جمعِ مربَّعَيِ الضلعَيْنِ الباقيَيْن.

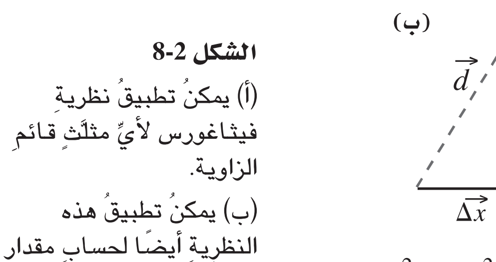
نظريةُ فيثاغورس للمثلَّثاتِ القائمةِ الزاوية

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$(\text{طول الوتر})^2 = (\text{طول الضلع الأوَّل})^2 + (\text{طول الضلع الآخر})^2$$

في **الشكل 2-8** **(ب)** طبَّقْنا نظريةَ فيثاغورس لحسابِ إزاحةِ السائح. إنَّ مربَّعَ الإزاحةِ يساوي جمعَ مربَّعِ الإزاحةِ الأفقيةِ ومربَّعِ الإزاحةِ الرأسية. بهذه الطريقةِ يمكنُك إيجادُ المقدارِ d للإزاحة.





الشكل 2-8
(أ) يمكنُ تطبيقُ نظريةِ فيثاغورس لأيِّ مثلَّثٍ قائمِ الزاوية.
(ب) يمكنُ تطبيقُ هذه النظريةِ أيضًا لحسابِ مقدارِ محصِّلةِ الإزاحة.

(أ)

الوتر
hypotenuse

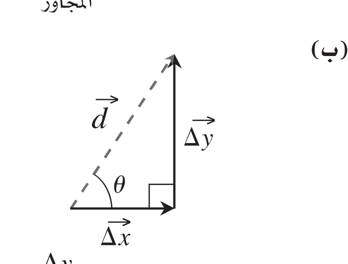
المقابل
opposite

θ

المجاور
adjacent

$$\tan\,\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$$

(ب)



$$\tan\,\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

الشكل 2-9

الزاويةُ θ هي الزاويةُ المحصورةُ بين متّجَه المحصِّلة والمتّجَه الأفقيّ. (أ) يمكنُ استعمالُ دالّةِ الظلِّ لأيِّ مثلثٍ قائمِ الزاوية. (ب) يمكنُ استعمالُها أيضًا لإيجادِ اتّجاه المحصِّلة.

استعمالُ دالَّة الظلِّ لإيجادِ اتِّجاهِ المحصِّلة

لكي تصفَ إزاحةَ السائحِ بطريقةٍ شاملةٍ يجبُ عليك معرفةُ اتّجاهِ سيرِه. يمكنُ استعمالُ دالَّة الظلِّ لمعرفةِ الزاويةِ θ التي تحدِّدُ اتِّجاهَ إزاحةِ السائح، وذلك لأنَّ Δx و Δy و d تشكِّلُ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ كما في **الشكل 2-9** (ب). وفي كلِّ مثلَّثٍ قائمِ الزاوية، كما في **الشكل 2-9** (أ)، يُعرَّفُ ظلُّ أيٍّ من الزاويتَيْنِ الحادَّتَيْنِ بأنه نسبةُ الضلعِ المقابلِ للزاويةِ إلى الضلعِ المجاورِ لها.

تعريفُ دالَّةِ الظلِّ في المثلَّث القائمِ الزاوية

$$\tan\,\theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \frac{opp}{adj}$$

ودالّةُ الظلِّ العكسيةُ تمثِّلُ الزاويةَ المعنيةَ أي:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}\right)$$

مثال 2 (أ)

إيجادُ مقدارِ محصِّلةٍ واتِّجاهِها

المسألة

يتسلَّقُ عالمُ آثارِ الهرمَ الكبيرَ في الجيزةِ بجوارِ القاهرة. إذا كانَ ارتفاعُ الهرمِ 136 m وعرضُ قاعدتِهِ 2.30×10^2 m، فما مقدارُ إزاحةِ العالمِ وما اتّجاهُها خلالَ تسلُّقِه الهرمَ من أسفلِه إلى قِمَّتِه؟

y

d

$\Delta y = 136$ m

θ

$\Delta x = 115$ m

x

الحل

1. أعرِّف

المعطى: $\Delta x = \frac{1}{2}$ (عرض القاعدة) $= \frac{1}{2}(2.30 \times 10^2) = 115$ m

$\Delta y = 136$ m

المجهول: $d = ?$ $\quad \theta = ?$

2. أخطِّط

الرسمُ البيانيّ: أختارُ نقطةَ انطلاقِ العالمِ بالتطابقِ مع مركزِ نظامِ الإحداثيّات.

أختارُ معادلة: يمكنُ استعمالُ نظريةِ فيثاغورس لمعرفةِ مقدارِ الإزاحة، ودالَّةِ الظلِّ لمعرفةِ اتِّجاهِها.

$$d^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2$$

$$\tan\,\theta = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلاتِ لتحديدِ المجهول:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحسب:

$$d = \sqrt{(115\ \text{m})^2 + (136\ \text{m})^2}$$

$$\boxed{d = 178\ \text{m}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{136\ \text{m}}{115\ \text{m}}\right)$$

$$\boxed{\theta = 49.8°}$$

4. أقيِّم

يكونُ مقدارُ إزاحةِ العالِمِ أقلَّ من مجموعِ ارتفاعِ الهرمِ ونصفِ عرضِ قاعدتِه، لكونِها وترَ المثلَّث. ونتوقَّعُ أن تكونَ الزاويةُ أكبرَ من °45 لكونِ ارتفاعِ الهرمِ أكبرَ من نصفِ عرضِ القاعدة.

جوابُ الآلةِ الحاسبة

تأكَّدْ من أنَّ آلتَكَ الحاسبةَ معدَّةٌ لقياسِ الزوايا بالدرجات. معظمُ الآلاتِ مزوَّدةٌ بزرٍّ مكتوبٍ عليه «DEG» وعند ضغطِه يمكنُكَ الاختيارُ بين «Deg» و «Rad» و «Grad».

تطبيق 2 (أ)

إيجادُ مقدارِ محصِّلةٍ واتِّجاهِها

1. قطعَ سائقُ شاحنةٍ 8 km نحوَ الشرقِ أثناءَ نقلِه لبعضِ المفروشات، وعادَ بعدَها 3 km نحوَ الغرب، وأخيرًا قطعَ 12 km نحوَ الشرقِ للوصولِ إلى مقصدِه.
   أ. ما المسافةُ التي قطعَها السائق؟
   ب. ما إزاحتُهُ الكليّة؟
2. يستعملُ قائدُ كشّافةٍ مخيَّمٍ في دهوك خريطةً للبحثِ عن كنز. يسيرُ 45.0 m شمالاً، وبعدها 7.50 m شرقًا. ما إزاحتُهُ المباشرةُ للوصولِ إلى الكنز؟
3. يركُلُ زانا كرةً عرضيةً (باتِّجاهِ عرضِ الملعب) مسافةَ 6.00 m نحوَ زميلِه دانا الذي يُرسلُها بدورِه طوليةً (باتجاهِ طولِ الملعب) مسافةَ 14.5 m نحوَ توانا. ما الإزاحةُ الكلِّيةُ للكرةِ لدى انتقالِها من زانا إلى توانا؟
4. تطيرُ فراشةٌ مسافةَ 1.2 m بمسارٍ مستقيمٍ على ارتفاعِ 3.4 m فوقَ سطحِ الأرض. وعندَما ترى زهرةً تهبطُ رأسيًّا فجأةً مسافةَ 1.4 m إلى مستوى الزهرة. ما إزاحةُ الفراشةِ الكلِّية؟

تحليلُ المتَّجَهاتِ إلى مركَّبات

مركَّباتُ المتَّجَه

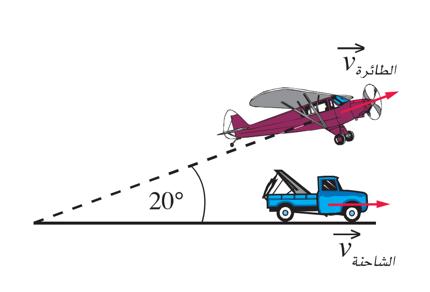
إسقاطاتُ المتَّجَهِ على محاورِ نظامِ إحداثيّاتٍ معيَّن.

في مثالِ الهرمِ، نطلقُ اسمَ **مركَّبتَيْن** components على القسمَيْنِ الأفقيِّ والرأسيِّ اللذينِ نجمعُهما للحصولِ على الإزاحةِ الحقيقيةِ للسائح. وهما المركَّبةُ x الموازيةُ للمحورِ x والمركَّبةُ y الموازيةُ للمحورِ y. ويمكنُ لكلٍّ منهما أن تكونَ موجبةً أو سالبةً، مع وحدةِ قياسٍ مناسبة.

يمكنُ أن نعبِّرَ عن كلِّ متَّجهٍ بمركَّبتَيْنِ متعامدتَيْن. لكن عندما يكونُ المتَّجَهُ باتِّجاهِ محورٍ واحد، كالكمّيّاتِ في الفصلِ الأوَّل، تكونُ المركَّبةُ الثانيةُ للمتَّجَهِ صفرًا.

من الأسهلِ وصفُ حركةِ جسمٍ معيَّنٍ بتحليلِها إلى مركَّبتَيْنِ متعامدتَيْنِ كالاتِّجاهِ من الشمالِ إلى الجنوبِ أو من الشرقِ إلى الغرب.

لتوضيحِ هذه النقطة، نحلِّلُ مشهدًا في أحدِ الأفلامِ حيثُ تحلِّقُ طائرةٌ بسرعةِ 95 km/h وبزاويةِ 20° مع الأرض. يحاولُ فريقٌ من المصوِّرينَ تصويرَ الطائرةِ من داخلِ شاحنةٍ تسيرُ على الأرضِ بحيثُ تكونُ الطائرةُ رأسيًّا فوقَ الشاحنةِ وبشكلٍ دائم، كما في **الشكل 10-2**. أيُّ سرعةٍ يجبُ أن تسيرَ بها الشاحنةُ كي تبقى تحتَ الطائرةِ مباشرة؟



الشكل 10-2

يجبُ أن تسيرَ الشاحنةُ التي تحملُ فريقَ تصويرٍ بالسرعةِ المناسبةِ لتمكينِ الفريقِ من تصويرِ أسفلِ طائرةٍ تحلِّقُ بزاويةِ 20° مع الأرضِ وبسرعةِ 95 km/h..

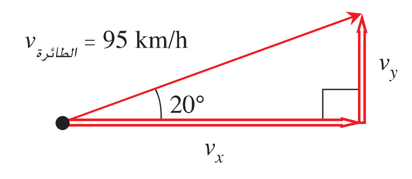
لحسابِ السرعةِ التي يجبُ أن تسيرَ بها الشاحنةُ لتبقى دائمًا تحتَ الطائرة، علينا أولاً معرفةُ المركَّبةِ الأفقيةِ لسرعةِ الطائرة. يمكنُ أن يكونَ مفتاحُ حلِّ المسألةِ بملاحظةِ أنَّ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ يمكنُ رسمُهُ باستعمالِ سرعةِ الطائرةِ ومركَّبتَيْها في الاتِّجاهَيْنِ x و y. ويمكنُ تحليلُ الموقفِ عندَها باستعمالِ علمِ المثلَّثات.

أمّا الجيبُ وجيبُ التمامِ فيمكنُ تعريفُهما بدلالةِ أضلاعِ المثلَّثِ القائمِ الزاوية، لأنَّ جيبَ الزاويةِ هو نسبةُ طولِ الضلعِ المقابلِ لها إلى طولِ الوتر.

تعريفُ دالّةِ الجيبِ في المثلَّثِ قائمِ الزاوية

$$\sin\theta = \frac{opp}{hyp} = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$$

الضلعُ المقابلُ للزاويةِ 20°، في **الشكل 11-2**، يمثِّلُ المركَّبةَ v_y للسرعة. هذه المركَّبةُ تصفُ السرعةَ الرأسيةَ للطائرة. ويمثِّلُ الوترُ المحصِّلةَ التي تصفُ سرعةَ الطائرةِ الكلِّية.



الشكل 11-2

للبقاءِ تحتَ الطائرةِ مباشرةً، يجبُ أن تسيرَ الشاحنةُ بسرعةٍ تساوي المركَّبةَ الأفقيةَ v_x لسرعةِ الطائرة.

أما جيبُ تمامِ الزاويةِ فهو نسبةُ طولِ الضلعِ المجاورِ للزاويةِ إلى طولِ الوتر.

تعريفُ دالَّةِ جيبِ التمامِ في المثلَّثِ قائمِ الزاوية

$$\cos\theta = \frac{adj}{hyp} = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$$

في **الشكل 11-2** يمثِّلُ الضلعُ المجاورُ للزاويةِ 20° المركَّبةَ v_x التي تصفُ السرعةَ الأفقيةَ للطائرة. وتمثِّلُ هذه المركَّبةُ السرعةَ التي يجبُ أن تسيرَ بها الشاحنةُ كي تبقى تحتَ الطائرةِ مباشرة.

مثال 2 (ب)

تحليلُ المتَّجهات

المسألة

جِدْ مركَّبَتَي السرعة لحوّامة تطيرُ بسرعةِ 95 km/h وبزاويةِ °35 مع الأرض.

الحــل

1. أعرِّف

المعطى: $\theta = 35°$ $\quad v = 95\ km/h$

المجهول: $v_x = ?$ $\quad v_y = ?$

المخطَّط: نظامُ الإحداثيّاتِ المناسبُ يكونُ محورُهُ x أفقيًّا ومحورُهُ y رأسيًّا إلى أعلى.

2. أخطِّط

أختارُ معادلة: بما أنَّ المحورَيْنِ متعامدان، فيمكنُ استعمالُ دالَّتَي الجيبِ وجيبِ التمامِ لحسابِ المركَّبتَيْن.

$$\sin\theta = \frac{v_y}{v}$$

$$\cos\theta = \frac{v_x}{v}$$

3. أحسب

أُعيدُ ترتيبَ المعادلتَيْنِ للحصولِ على المجهول:

$$v_y = v\,(\sin\theta)$$

$$v_x = v\,(\cos\theta)$$

أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحلّ:

$$v_y = (95\ km/h)\ (\sin 35°)$$

$$\boxed{v_y = 54\ km/h}$$

$$v_x = (95\ km/h)\ (\cos 35°)$$

$$\boxed{v_x = 78\ km/h}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

عندَ استعمالكَ للآلةِ الحاسبة، احسبِ الدوالَّ المثلَّثيةَ كالجيبِ وجيبِ التمامِ والظلِّ قبلَ القيامِ بعملياتِ الضرب. يساعدُكَ ذلك في إبقاءِ العددِ المطلوبِ من الأرقامِ المعنوية.

4. أقيِّم

بما أنَّ مركَّبتَي السرعةِ تؤلِّفانِ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ مع متَّجَهِ السرعةِ الحقيقيةِ للحوّامة، يمكنُ استعمالُ نظريةِ فيثاغورس للتحقُّقِ من صحَّةِ مركَّبتَي السرعة.

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2$$

$$(95)^2 \approx (78)^2 + (54)^2$$

$$9025 \approx 9000$$

الفرقُ البسيطُ ناتجٌ من عمليةِ التدوير.

تطبيق 2 (ب)

تحليلُ المتَّجَهات

1. ما مقدارُ السرعةِ التي تسيرُ بها شاحنةٌ كي تبقى مباشرةً تحتَ طائرةٍ تطيرُ بسرعةِ 105 km/h وبزاويةِ 25° مع الأرض؟
2. ما المركَّبةُ الرأسيةُ لسرعةِ الطائرةِ في السؤالِ 1؟
3. تسيرُ شاحنةٌ صعودًا على منحدرٍ يميلُ بزاويةِ 15° مع الأفقيّ وبسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 22 m/s. ما مقدارُ مركَّبتَي السرعةِ، الأفقيةِ والرأسية، للشاحنة؟
4. ما مقدارُ المركَّبةِ الأفقيةِ والمركَّبةِ الرأسيةِ لإزاحةِ هرَّةٍ عند تسلُّقِها شجرةً مسافةً 5 m رأسيًّا؟

جمعُ المتَّجَهاتِ غيرِ المتعامدة

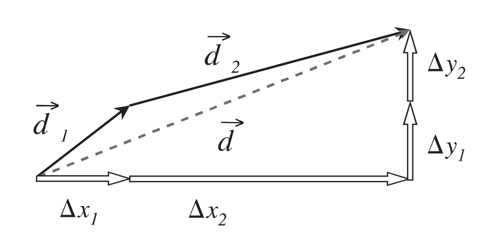
تمَّ إلى الآنَ جمعُ متَّجهاتٍ متعامدةٍ، إلا أنَّ أجسامًا كثيرةً تسيرُ في اتِّجاهٍ معيَّنٍ ثم تميلُ بزاويةٍ حادّةٍ قبلَ أن تتابعَ سيرَها.

افترضْ أنَّ طائرةً تقطعُ أولاً مسافةَ 50 km بزاويةِ 35° مع الأرض، ثم تتابعُ طيرانَها بزاويةِ 10° فوق الأفقيِّ فقط لتقطعَ مسافةَ 220 km. كيف يمكنُكَ تحديدُ مقدارِ الإزاحةِ الكلِّيةِ للطائرةِ واتِّجاهِها؟

لأنَّ متَّجَهَي الإزاحةِ لا يشكِّلانِ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ، لا يمكنُنا تطبيقُ دالَّةِ الظلِّ أو نظريةِ فيثاغورس لجمعِ هذَيْنِ المتَّجهَيْن.

يمكنُ حسابُ مقدارِ محصِّلةِ هذينِ المتَّجهَيْنِ واتِّجاهِها بتحليلِ كلٍّ منهما إلى مركَّبتينِ على المحورَيْنِ المتعامدَيْنِ x و y. تُجمعُ بعدَ ذلك المركَّباتُ في اتِّجاهٍ واحدٍ كما في **الشكل 12-2**، ويشكِّلُ الجمعُ الاتِّجاهيُّ في اتِّجاهِ كلِّ محورٍ المركَّبتينِ المتعامدتَيْنِ للمحصِّلةِ الكليةِ $\vec{d}$.

يمكن إيجادُ مقدارِ المحصِّلةِ الآنَ باستعمالِ نظريةِ فيثاغورس، وإيجادُ اتِّجاهِها باستعمالِ دالَّةِ الظلّ.



الشكل 12-2
اجمعْ مركَّباتِ الإزاحاتِ الأساسيةِ لإيجادِ مركَّبتَيْنِ تشكِّلانِ مثلَّثًا قائمَ الزاويةِ يكونُ وترُهُ المحصِّلةَ الكليةَ.

مثال 2 (ج)

جمعُ المتَّجهاتِ جبريًّا

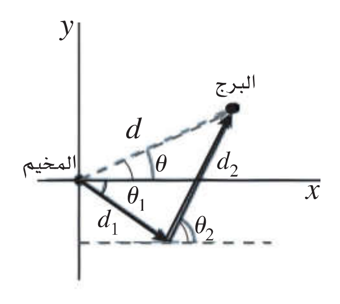
المسألة

يسيرُ جوّالٌ 25.5 km من مخيِّمِه بزاويةِ 35° في اتِّجاهِ الجنوبِ الشرقيِّ. في اليومِ التالي يسيرُ مسافةَ 41.0 km بزاويةِ 65° في اتِّجاهِ الشمالِ الشرقيِّ ليصلَ إلى برجٍ كاشفٍ في الغابة.
احسبْ مقدارَ إزاحةِ الجوّالِ واتِّجاهَها من مخيِّمِه إلى البرج.

الحل

1. أعرِّف

أختارُ نظامَ إحداثيّات، أرسُمُ المتَّجهاتِ المرادَ جمعُها، وأرمِّزُ كلاًّ منها.



الشكل 2-13

يظهرُ في **الشكل 2-13** رسمٌ للحالةِ على نظامِ إحداثيّات. يكون الاتِّجاهُ الموجبُ للمحورِ y شمالاً والاتِّجاهُ الموجبُ للمحورِ x شرقًا، بينما يشكلُ المخيَّمُ نقطةَ أصلِ الإحداثيات. تكونُ زاويةُ اتِّجاهِ سيرِ الجوّالِ θ_1 في اليومِ الأوَّلِ مع اتِّجاهِ دورانِ عقاربِ الساعةِ انطلاقًا من محورِ x الموجب.

المعطى: $d_2 = 41.0$ km $\quad d_1 = 25.5$ km $\quad \theta_2 = 65°$ $\quad \theta_1 = -35°$

المجهول: $\theta = ?$ $\quad d = ?$

2. أخطِّط

أجدُ المركَّبتَيْن x و y لكلِّ المتَّجهات.

أرسمُ إزاحةَ الجوّالِ في كلِّ يومٍ على حدة. يمكنُ حسابُ مركَّبتَيْ كلِّ إزاحةٍ باستعمالِ دالّتَي الجيبِ وجيبِ التمام. بما أنَّ زاويةَ اتِّجاهِ الإزاحةِ في اليومِ الأوَّلِ كانت سالبةً، فإنَّ مركَّبتَها في الاتِّجاهِ y تكونُ سالبةً أيضًا.

$$\sin \theta = \frac{\Delta y}{d}$$

$$\cos \theta = \frac{\Delta x}{d}$$

في اليومِ الأوَّل:
(الشكل 2-14)

الشكل 2-14

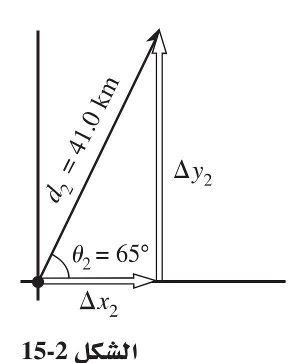
$$\Delta x_1 = d_1 (\cos \theta_1) = (25.5 \text{ km}) [\cos (-35°)]$$

$$\Delta x_1 = 21 \text{ km}$$

$$\Delta y_1 = d_1 (\sin \theta_1) = (25.5 \text{ km}) [\sin (-35°)]$$

$$\Delta y_1 = -15 \text{ km}$$

في اليوم الثاني:
(الشكل 2-15)



الشكل 2-15

$$\Delta x_2 = d_2\,(\cos\,\theta_2) = (41.0\text{ km})\,(\cos 65°)$$

$$\Delta x_2 = 17\text{ km}$$

$$\Delta y_2 = d_2\,(\sin\,\theta_2) = (41.0\text{ km})\,(\sin 65°)$$

$$\Delta y_2 = 37\text{ km}$$

أجدُ المركَّبتين x و y للإزاحة الكلِّية.

أجمعُ أوَّلاً المركَّبات في الاتِّجاه x لحساب المركَّبة الكلِّية في الاتِّجاه x. ثمَّ أعيدُ العملية نفسَها في الاتِّجاه y.

$$\Delta x_{\text{الكلية}} = \Delta x_1 + \Delta x_2 = 21\text{ km} + 17\text{ km} = 38\text{ km}$$

$$\Delta y_{\text{الكلية}} = \Delta y_1 + \Delta y_2 = -15\text{ km} + 37\text{ km} = 22\text{ km}$$

3. أحسب

أستعملُ نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار المحصِّلة.

بما أنَّ المركَّبتين $\Delta x_{\text{الكلية}}$ و $\Delta y_{\text{الكلية}}$ متعامدتان، يمكنُ استعمالُ نظرية فيثاغورس لإيجاد مقدار متَّجه المحصِّلة.

$$d^2 = (\Delta x_{\text{الكلية}})^2 + (\Delta y_{\text{الكلية}})^2$$

$$d = \sqrt{(\Delta x_{\text{الكلية}})^2 + (\Delta y_{\text{الكلية}})^2} = \sqrt{(38\text{ km})^2 + (22\text{ km})^2}$$

$$\boxed{d = 44\text{ km}}$$

أستعملُ دالّةً مثلَّثيةً مناسبةً لحساب الزاوية بينَ المحصِّلة والمحور x.

يمكنُ معرفةُ اتِّجاه المحصِّلة باستعمال دالَّة الظلّ.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y_{\text{الكلية}}}{\Delta x_{\text{الكلية}}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{22\text{ km}}{38\text{ km}}\right)$$

$$\boxed{\theta = (3.0 \times 10^1)^\circ \text{ شمال شرق}}$$

4. أقيّم

أقيِّمُ الإجابة.

بعدَ رسم المخطَّط وفقًا لمقياس معيَّن، أُقارنُ بينَ الإجابة الجبرية والإجابة البيانية (بالرسم). الإجابةُ الجبريةُ تبدو مقنعةً لأنَّ المسافةَ بين المخيَّم والبرج أكبرُ من المسافة التي قُطعتْ في اليوم الأوَّل وأكبرُ بقليل من المسافة التي قُطعتْ في اليوم الثاني. واتِّجاهُ المحصِّلة الجبريُّ يعتبرُ مقبولاً أيضًا لأنَّ الزاوية في **الشكل 2-13** تبدو قريبةً من 30°.

تطبيق 2 (ج)

جمعُ المتَّجَهاتِ جبريًّا

1. يركضُ لاعبُ كرةِ قدم مسافةَ 35 m باتِّجاهِ طولِ الملعبِ قبل أن ينحرفَ بزاوية 25° إلى يمينِ اتِّجاهِ سيرِهِ الأصليّ، حيثُ يركضُ مسافةَ 15 m قبلَ أن يوقفَهُ لاعبٌ آخر. ما مقدارُ إزاحةِ اللاعبِ الكلِّيةِ وما اتِّجاهُها؟
2. تطيرُ طائرةٌ مسافةَ 2.5 km بزاويةِ 35° مع مستوى الأرضِ وتغيِّرُ اتِّجاهَها لتقطعَ مسافةَ 5.2 km بزاويةِ 22° مع الأرض. ما مقدارُ الإزاحةِ الكلِّيةِ للطائرة؟ وما اتِّجاهُها؟
3. يركضُ مروِّضٌ للنمورِ في حديقةِ الحيواناتِ مسافةَ 8.0 m إلى الشمال، ثم مسافةَ 3.5 m شرقَ شمالٍ بزاويةِ 35°. بعدها ينتظرُ المروِّضُ النمرَ ليقتربَ منه ويركضُ 5.0 m في اتِّجاهِ الشرقِ ليدخلَهُ في قفصِه. ما الإزاحةُ الكلِّيةُ للمروِّض؟
4. تحلِّقُ طائرةٌ بموازاةِ الأرضِ فتقطعُ إزاحتَيْنِ متتاليتَيْن، الأولى مسافتُها 75 km بزاويةِ 30.0° غربَ شمالٍ، والثانية مسافتُها 155 km بزاويةِ 60.0° شرقَ شمال. ما الإزاحةُ الكلِّيةُ للطائرة؟

مراجعةُ القسم 2-2

1. حدِّدْ نظامَ إحداثياتٍ مناسبًا لتحليلِ كلٍّ من المواقفِ التالية:
   أ. قطَّةٌ تسيرُ في حديقةِ المنزل.
   ب. متسلق جبال يتسلق جبلَ سفين في إربيل.
   ج. غوّاصةٌ تغوصُ بزاوية 30° تحتَ سطحِ الماء.
2. جِدْ، للسرعاتِ المتعامدةِ التالية، مقدارَ محصِّلةِ السرعةِ واتِّجاهَها:
   أ. سمكةٌ تعبرُ نهرًا بسرعةِ 3.0 m/s بالنسبةِ إلى الماء، وسرعةُ تيارِ الماءِ 5.0 m/s.
   ب. قاربٌ يسيرُ بسرعةِ 1.0 m/s باتِّجاهٍ متعامدٍ مع سرعةِ موجةٍ مقدارُها 6.0 m/s.
3. جِدْ مركَّبتَي المتَّجَهاتِ في الاتِّجاهاتِ المحصورةِ بين قوسَيْن:
   أ. سيّارةٌ تقطعُ إزاحةَ 10.0 km في الاتِّجاهِ الشماليِّ الشرقيّ بزاوية 45° (الشمالي والشرقي).
   ب. بطَّةٌ تهربُ من صيّادٍ تتسارعُ بمقدارِ $2.0\ m/s^2$ وبزاويةِ 35° مع الأرض (الأفقيّ والرأسيّ).
4. **تفكيرٌ ناقد** لماذا نحتاجُ إلى تحليلِ المتَّجهاتِ غيرِ المتعامدةِ إلى مركَّباتٍ قبل أن نقومَ بجمعِها؟

القسم 3-2

حركةُ المقذوفات

Projectile Motion

3-2 أهدافُ القسمِ

- يتعرَّفُ أمثلةً على حركةِ المقذوفات.
- يصفُ مسارَ المقذوفاتِ كقطعٍ مكافئ.
- يحلِّلُ المتَّجهات إلى مركَّباتها ويطبِّقُ معادلاتِ الحركةِ لحلِّ مسائلَ تتعلَّقُ بحركةِ المقذوفات.

الحركةُ في بُعدَيْن (في مستوٍ)

اتَّضحَ لنا في القسمِ 2-2 أنَّ بعضَ الكمِّياتِ الفيزيائيةِ، مثلَ الإزاحةِ والسرعة، يمكنُ تمثيلُها بمتَّجهاتٍ وتحليلُها إلى مركَّبات. تساعدُ هذه المركَّباتُ على فهمِ وتوقُّعِ حركةِ الأجسامِ المقذوفةِ في الهواء.

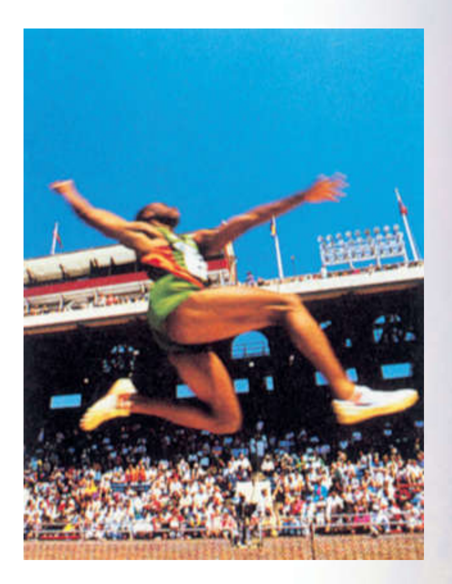
استعمالُ المركَّباتِ تفاديًا لتعقيداتِ المتَّجهات

كيفَ تحصلُ على إزاحةِ وسرعةِ وتعجيلِ كرةٍ مقذوفةٍ في الهواءِ في أيِّ لحظة؟ كلُّ معادلاتِ الحركةِ الواردةِ في الفصلِ 1 يمكنُ إعادةُ كتابتِها بدلالةِ الكمِّياتِ الاتِّجاهيَّة. عند إطلاقِ جسمٍ في الهواءِ في اتِّجاهٍ غيرِ الاتِّجاهِ الرأسيِّ، لا تكونُ السرعةُ والتعجيلُ والإزاحةُ لهذا الجسمِ في اتِّجاهٍ واحد، مما يسبِّبُ صعوبةً في حلِّ معادلاتِ الحركةِ المتضمِّنةِ كمِّياتٍ اتِّجاهيَّة. وتفاديًا لهذه الصعوبةِ يمكنُ استعمالُ تقنيةِ تحليلِ المتَّجهاتِ إلى مركَّباتِها.

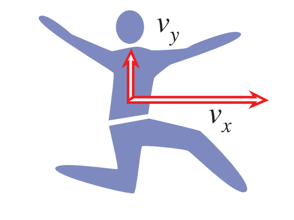
يمكنُكَ تطبيقُ معادلاتِ البُعدِ الواحدِ لكلِّ مركَّبةٍ على حدة، وأخيرًا يمكنُكَ إعادةُ جمعِ المركَّباتِ لتحديدِ المحصِّلةِ النهائية.

المركَّباتُ تسهِّلُ دراسةَ حركةِ المقذوفات

عندمَا يؤدّي لاعبُ الوثْبِ الطويلِ قفزتَه كما في **الشكل 16-2**، عليه أوَّلاً أن يركُضَ في خطٍّ مستقيمٍ يُسمَّى محورَ x كما في **الشكل 17-2** (أ). وحين يقفزُ، كما في **الشكل 17-2** (ب)، تصبحُ سرعتُهُ ذاتَ مركَّبتَيْن: واحدةٍ أفقيةٍ وأخرى رأسية. يمكنُ دراسةُ الحركةِ في هذا المستوي الرأسيِّ باستعمالِ محورَي x و y.



الشكل 16-2
يُحلَّلُ متَّجَهُ سرعةِ الرياضيِّ إلى مركَّبتَيْن أفقيةٍ ورأسية. بهذه الطريقةِ يمكنُ تحليلُ حركةِ الرياضيِّ، باستعمالِ معادلاتِ الحركةِ في كلِّ اتجاهٍ على حدة.



الشكل 17-2
(أ) عندمَا يعدو لاعبُ الوثْبِ الطويل، قبلَ أن يقفزَ، يكونُ لسرعتِهِ مركَّبةٌ واحدةٌ أفقية.
(ب) وهو في الهواءِ يكونُ لسرعتِهِ مركَّبتان، أفقيةٌ ورأسية.

حركةُ المقذوف

سقوطٌ حرٌّ مع سرعةٍ ابتدائيةٍ غيرِ رأسية.

في هذا القسمِ نركِّزُ اهتمامَنا على شكلٍ من أشكالِ الحركةِ في بُعدَيْن يُسمّى **حركةَ المقذوفات** projectile motion. الأجسامُ التي تُقذفُ في الهواءِ وتتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ الجاذبيةِ تُسمّى المقذوفات. تعتبرُ قذيفةُ المدفعِ وكرةُ القدمِ والأسهمُ عند قذفِها في الهواءِ أمثلةً على المقذوفات، حتى لاعبُ الوثبِ الطويلِ يمكنُ أن تعتبرَهُ من المقذوفات.

المسارُ من دونِ مقاومةِ الهواء

المسارُ بوجودِ مقاومةِ الهواء

(أ)

(ب)

الشكل 2-18

(أ) مع إهمالِ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ يكونُ مسارُ كرةِ القدمِ التي ردَّها اللاعبُ برأسِهِ على شكلِ قطعٍ مكافئ.

(ب) مع تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ يكونُ المسارُ أقصرَ، ولا يكونُ قطعًا مكافئًا.

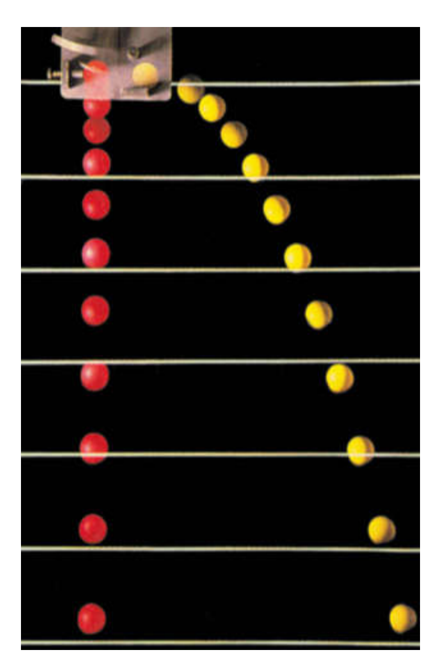
مساراتُ المقذوفاتِ لها شكلُ القطْعِ المكافئ

يشكِّلُ مسارُ المقذوفِ منحنًى يُسمّى القطعَ المكافئ، كما يظهرُ في **الشكل 2-18** (أ). يعتقدُ بعضُ الناسِ خطأً أنَّ المقذوفَ يسقطُ على مسارٍ رأسيٍّ إلى الأسفل، كما يظهرُ في الرسومِ المتحرِّكةِ عندَ وصولِ شخصيةٍ مسرعةٍ إلى حافةِ مرتفعٍ شاهق. في الواقعِ إذا كان للمقذوفِ سرعةٌ ابتدائيةٌ أفقيةٌ اكتسبَها في فترةٍ زمنيةٍ محدَّدةٍ يكونُ هناك مركَّبةٌ أفقيةٌ خلالَ طيرانه. تكونُ المركَّبةُ الأفقيَّةُ لسرعةِ المقذوفِ ثابتةً في حالةِ انعدامِ مقاومةِ الهواءِ، ومتغيِّرةً بوجودِها. فمع مقاومةِ الهواءِ تخفُّ سرعةُ المقذوفِ الأفقيةُ نتيجةً لتصادمِهِ مع جُسيماتِ الهواء. بناءً عليه، وكما هو مبيَّنٌ في **الشكل 2-18** (ب)، فإنَّ المسارَ الصحيحَ لمقذوفٍ في الهواءِ ليسَ قطعًا مكافئًا.

حركةُ المقذوفِ هي سقوطٌ حرٌّ مع وجودِ سرعةٍ ابتدائيةٍ غيرِ رأسية (شاقوليَّة)

لفهمِ حركةِ المقذوفِ تفحَّصْ أوَّلاً **الشكلَ 2-19**. لقد أُفلتَت الكرةُ الحمراءُ في اللحظةِ نفسِها التي انطلقَتْ فيها الكرةُ الصفراءُ باتِّجاهٍ أفقيّ. إذا لم تؤخذْ مقاومةُ الهواءِ في الاعتبارِ، فإنَّ الكُرتَيْن تصلانِ إلى الأرضِ في اللحظةِ نفسِها.

لدى تفحصنا لكلتا الكُرتَيْن بالنسبةِ إلى الخطوطِ الأفقيةِ المرسومةِ من جهةٍ، وبالنسبةِ إلى بعضهما من جهةٍ أخرى، نرى أنهما تهبطانِ معًا. قد نرفضُ هذا الوصفَ للوهلةِ الأولى، لأنَّ إحداهما زُوِّدَتْ بسرعةٍ ابتدائيةٍ، بينما بدأتِ الأخرى من حالةِ السكون. لكن إذا حلَّلنا الحركةَ إلى مركَّبتَيْها، وبخاصَّةٍ الرأسيّة، تصبحُ استنتاجاتُ الاختبارِ مقبولةً ولها معنى. ندرسُ أوَّلاً حركةَ الكرةِ الحمراءِ التي تسقطُ رأسيًّا ولا تتحرَّكُ أفقيًّا، ففي الاتِّجاهِ الرأسيِّ تبدأُ الحركةُ من السكون $(v_{y,i} = 0 \text{ m/s})$ وتتابعُ سقوطَها الحرّ. هكذا يمكنُ استعمالُ معادلاتِ الحركةِ في الفصل 1 لدراسةِ حركةِ الكرةِ الساقطةِ رأسيًّا. يمكنُ استبدالُ التعجيل a بـ $(-g)$ لأنَّ المركَّبةَ الرأسيةَ الوحيدةَ للتعجيلِ هي تعجيلُ السقوطِ الحرّ. لاحظْ أنَّ Δy سالبة.



الشكل 2-19

صُوَرٌ ستروبسكوبيةٌ لمواقعِ كُرتَيْ طاولةٍ أُطلقتا في الوقتِ نفسه. بالرغمِ من أنَّ الكرةَ الصفراءَ أُعطيَتْ سرعةً ابتدائيةً أفقيةً فيما أُلقيتِ الكرةُ الحمراءُ من حالةِ السكون، فإنهما تكونانِ خلالَ سقوطِهما دائمًا في مستوٍ أفقيٍّ واحد.

الحركةُ الرأسيةُ لمقذوفٍ يسقطُ من السكون

$$v_{y,f} = -g\Delta t$$

$$v^2_{y,f} = -2\, g\Delta y$$

$$\Delta y = -\frac{1}{2}\, g(\Delta t)^2$$

ندرسُ الآنَ مركَّبتَيِ حركةِ الكرةِ الصفراءِ التي أُطلقتْ كما في **الشكل 2-19**. تقطعُ هذه الكرةُ الإزاحةَ الأفقيةَ نفسَها خلالَ الفتراتِ الزمنيةِ المتساويةِ. هذا يعني أنَّ السرعةَ الأفقيةَ لهذه الكرةِ تبقى ثابتة (وهو ما يبرِّرُ إهمالَ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ). وهكذا يمكنُ استعمالُ معادلاتِ الحركةِ بسرعةٍ ثابتةٍ في تحليلِ الحركةِ الأفقيةِ للمقذوفِ، حيثُ تكونُ السرعةُ الأفقيةُ للمقذوفِ خلالَ تحليقِهِ مساويةً للسرعةِ الابتدائيةِ الأفقيةِ. ونتيجةً لهذا، توصفُ الحركةُ الأفقيةُ للمقذوفِ بالمعادلةِ التاليةِ.

الحركةُ الأفقيةُ للمقذوف

$$v_x = v_{x,i} = \text{ثابت}$$

$$\Delta x = v_x \Delta t$$

ندرسُ الآنَ الحركةَ الابتدائيةَ للكرةِ الصفراءِ المقذوفةِ كما في **الشكل 2-19**. بالرغمِ من أنَّ لهذهِ الكرةِ سرعةً ابتدائيةً أفقيةً، فليسَ لسرعتِها الابتدائيةِ أيُّ مركَّبةٍ رأسيةٍ. أسوةً بالكرةِ الحمراءِ الساقطةِ رأسيًّا فإنَّ الكرةَ الصفراءَ أيضًا هي في حالةِ سقوطٍ حرٍّ، وحركتُها الرأسيةُ توصفُ بمعادلاتِ السقوطِ الحرِّ نفسِها. تجتازُ الكرةُ المقذوفةُ خلالَ أيِّ فترةٍ زمنيةٍ الإزاحةَ الرأسيةَ نفسَها التي تجتازُها كرةٌ تسقطُ رأسيًّا إلى أسفل. لهذا السببِ تصلُ الكرتانِ الحمراءُ والصفراءُ إلى الأرضِ في الوقتِ نفسِه. للحصولِ على سرعةِ المقذوفِ في أيِّ نقطةٍ خلالَ تحليقِهِ علينا إيجادُ الجمعِ الاتِّجاهيِّ لمركَّبتَيِ السرعةِ عند هذه النقطةِ. نستعملُ نظريةَ فيثاغورس لنحصُلَ على مقدارِ السرعةِ في هذه النقطةِ، ونطبِّقُ دالَّةَ الظلِّ لمعرفةِ اتِّجاهِ السرعةِ.

نشاط عملي سريع

حركةُ المقذوفات

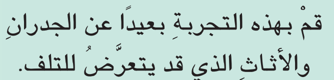
المـوادّ

✓ كرتانِ متشابهتان
✓ منحدَر



إرشاداتُ السلامة

قمْ بهذه التجربةِ بعيدًا عن الجدرانِ والأثاثِ الذي قد يتعرَّضُ للتلف.



دحرجْ كرةً على طاولةٍ. في اللحظةِ التي تتجاوزُ فيها الكرةُ الطاولةَ، أسقطْ كرةً ثانيةً من الارتفاعِ نفسِه. هل ترتطمُ الكرتانِ بالأرضِ في الوقتِ نفسِه؟

غيِّر سرعةَ تدحرجِ الكرةِ الأولى. هل يؤثِّرُ تغييرُ السرعةِ في وصولِ الكُرتَيْنِ إلى الأرضِ في الوقتِ نفسِه؟ دحرجْ إحدى الكرتَيْنِ نزولاً على المنحدَر. دعِ الثانيةَ تسقطْ من قاعدةِ المنحدَرِ في اللحظةِ التي تتجاوزُ فيها الكرةُ الأولى المنحدَر. أيُّ الكرتَيْنِ تصلُ إلى الأرضِ أولاً في هذه الحالةِ؟

مثال 2 (د)

حركةُ المقذوفِ أفقيًا

المسألة

يرتفعُ جسرٌ 321 m فوقَ نهر. افترضْ أنك ركلْتَ حجرًا صغيرًا بشكل أفقيٍّ عن الجسر، واصطدمَ بسطحِ الماءِ على بُعدٍ أفقيٍّ مقدارُهُ 45.0 m. جِدِ السرعةَ التي ركلْتَ بها الحجر.

الحـــل

1. أعرِّف

المعطى: $\Delta y = -321\ m$ $\quad \Delta x = 45.0\ m$ $\quad a_y = -g = -9.81\ m/s^2$

المجهول: $v_i = ?$

المخطَّط: متَّجهُ السرعةِ الابتدائيةِ لهذا الحجرِ له مركَّبةٌ أفقيةٌ فقط. أختارُ الاتِّجاهَ الموجبَ للمحورِ y رأسيًّا إلى أعلى، والاتِّجاهَ الموجبَ للمحورِ x أفقيًّا باتِّجاهِ اليمين.

2. أخطِّط

أختارُ المعادلة:

بما أنَّ تأثيرَ مقاومةِ الهواءِ يمكنُ إهمالُه، فإنَّ المركَّبةَ الأفقيةَ لسرعةِ الحجرِ تبقى ثابتة.

$$\Delta x = v_x \Delta t$$

وبما أنه لا وجودَ للسرعةِ الابتدائيةِ الرأسية، فبالإمكانِ تطبيقُ المعادلةِ التالية:

$$\Delta y = -\frac{1}{2}g(\Delta t)^2$$

أُعيدُ ترتيبَ المعادلة للحصول على المجهول:

ألاحظُ أنَّ الفترةَ الزمنيةَ هي نفسُها للإزاحتَيْنِ الأفقيةِ والرأسية.

لهذا يمكنُ إعادةُ ترتيبِ المعادلةِ الثانيةِ للحصولِ على Δt.

$$\Delta t = \sqrt{\frac{2\Delta y}{-g}}$$ مع العلمِ أنَّ $\Delta y < 0$

$$v_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \left(\sqrt{\frac{-g}{2\Delta y}}\right)\Delta x$$

3. أحسب

أعوِّضُ المقاديرَ في المعادلاتِ وأحسب:

إنَّ قيمةَ v_x يمكنُ أن تكونَ سالبةً أو موجبةً بسببِ الجذرِ التربيعيّ. وبما أنَّ اتِّجاهَ السرعةِ غيرُ مطلوبٍ، أستعملُ القيمةَ الموجبةَ v_x للجذر.

$$v_x = \sqrt{\frac{-9.81\ m/s^2}{(2)(-321\ m)}}\ (45.0\ m) = \boxed{5.56\ m/s}$$

4. أقيِّم

للتحقُّقِ من صحَّةِ الحسابات، أقدِّرُ مدَّةَ الفترةِ الزمنيَّةِ لـ Δx وأحسبُ Δy. إذا كان المقدارُ التقريبيّ لـ v_x يساوي 5.5 m/s و $\Delta x = 45\ m$، عندها Δt تساوي تقريبًا 8 s. وإذا استعملْتُ قيمةً تقريبيَّةً $10\ m/s^2$ لـ g مع القيمةِ التقريبيَّةِ لـ Δt أحصلُ على $\Delta y \approx -320\ m$، وهي مساوية تقريبًا للقيمة المعطاة.

تطبيق 2 (د)

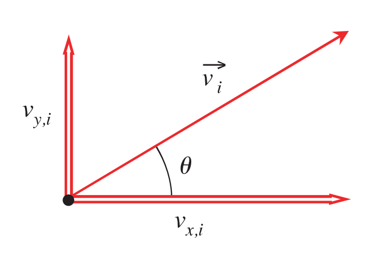
حركةُ المقذوفِ أفقيًا

1. يتمُّ تصويرُ كرةِ بيسبول آليًّا لدى تدحرجِها على سطحِ مقعدٍ أفقيٍّ ارتفاعُهُ 0.70 m. تصطدمُ الكرةُ بالأرضِ على مسافةِ 0.25 m من قاعدةِ المقعد. ما مقدارُ سرعةِ الكرةِ أثناءَ تدحرُجِها على المقعد؟

2. تطاردُ هرَّةٌ فأرًا على طاولةٍ ارتفاعُها 1.0 m. انحرفَ الفأرُ عن مسارِهِ أمامَ الهرَّة، فانزلقَتِ الهرَّةُ عن الطاولةِ وارتطمتْ بالأرضِ على بعدِ 2.2 m من حافةِ الطاولة. كم كانتْ سرعةُ الهرَّةِ عندَ انزلاقِها على الطاولة؟

3. سقطَتْ سمكةٌ من منقارِ بجعةٍ أثناءَ طيرانِها في مسارٍ أفقيٍّ علوُّهُ 5.4 m. قطعَتِ السمكةُ مسافةً أفقيةً مقدارُها 8.0 m قبلَ اصطدامِها بسطحِ الماء. كم كانتِ السرعةُ الابتدائيةُ للبجعة؟

4. إذا كانتِ البجعةُ في السؤالِ 3 تطيرُ بالسرعةِ نفسِها ولكن على علوٍّ 2.7 m فوق سطحِ الماء، فما المسافةُ الأفقيةُ التي تقطعُها السمكةُ في هذه الحالةِ حتى تصطدمَ بسطحِ الماء؟



الشكل 2-20

أُطلقَ جسمٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ $\vec{v}_i$ وبزاويةِ θ. بتحليل السرعةِ الابتدائيةِ إلى المركَّبتَيْن $v_{x,i}$ و $v_{y,i}$، يمكنُ تطبيقُ معادلات قانونِ الحركةِ لوصفِ حركةِ المقذوفِ خلالَ تحليقِه.

حركةُ المقذوفِ بزاويةٍ معينة

لندرسْ حالةَ إطلاقِ مقذوفٍ بزاويةٍ مع الأرضِ الأفقية، كما في **الشكل 2-20**. للمقذوفِ سرعةٌ ابتدائيةٌ لها مركَّبتانِ أفقيةٌ ورأسية.

افترضْ أنَّ متَّجَهَ السرعةِ الابتدائيةِ يميلُ بزاويةِ θ مع الأفقيِّ. لدراسةِ حركةِ المقذوف، علينا تحليلُ هذه الحركةِ إلى مركَّبتَيْن. نستعملُ دالَّتَيِ الجيبِ وجيبِ التمامِ لإيجادِ المركَّبتَيْنِ الأفقيةِ والرأسيةِ للسرعةِ الابتدائية.

$$v_{y,i} = v_i\,(\sin\,\theta) \quad \text{و} \quad v_{x,i} = v_i\,(\cos\,\theta)$$

نعوِّضُ $v_{x,i}$ و $v_{y,i}$ في المعادلاتِ الكاينماتيكية الواردةِ في الفصلِ الثاني للحصولِ على مجموعةِ معادلاتٍ تُستعملُ لدراسةِ حركةِ المقذوفِ المنطلقِ بزاويةٍ.

حركةُ المقذوفاتِ بزاويةٍ معينة

$$v_x = v_i\,(\cos\,\theta) = \text{ثابت}$$

$$\Delta x = v_i\,(\cos\,\theta)\Delta t$$

$$v_{y,f} = v_i\,(\sin\,\theta) + ay\Delta t$$

$$v_{y,f}^{\;2} = v_i^{\;2}\,(\sin\,\theta)^2 + 2ay\Delta y$$

$$\Delta y = v_i\,(\sin\,\theta)\Delta t + \frac{1}{2}ay(\Delta t)^2$$

حيث ay تساوي $-g$ في حالةِ المقذوفات. إنَّ لسرعةِ المقذوفِ الذي أُطلقَ بزاويةٍ مركَّبتَيْنِ أفقيةً ورأسية. والحركةُ الرأسيةُ مشابهةٌ لحركةِ جسمٍ يُقذفُ رأسيًّا إلى أعلى بسرعةٍ ابتدائية.

مثال 2 (هـ)

حركةُ المقذوفِ بزاويةٍ معينة

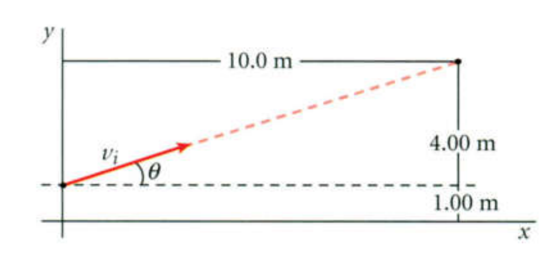
المسألة

يجدُ حارسُ حديقةَ الحيواناتِ قردًا معلَّقًا من أحدِ أعمدةِ الإنارة. يقومُ الحارسُ بتسديدِ بندقيَّةِ التخديرِ نحو القردِ على مسافة 10.0 m من عمودِ الإنارةِ الذي يبلغُ ارتفاعهُ 5.00 m. تعلو فوَّهةُ البندقيَّةِ مسافة 1.00 m عن سطحِ الأرض. في لحظةٍ واحدة، يرمي القردُ موزةً ويقومُ الحارسُ بتسديدِ الطلقةِ. إذا كانَتْ سرعةُ الطلقةِ 50.0 m/s، فهل ستصيبُ الموزةَ، أم القردَ، أم تخفقُ في إصابةِ أيٍّ منهما؟

الحل

.1 **أختارُ نظامَ إحداثياتٍ مناسبًا.**

يتَّجهُ المحورُ y شاقوليًّا إلى أعلى، في حين أنَّ اتِّجاه x الموجبَ هو نحو عمودِ الإنارةِ وموازٍ للأرض. لأنَّ الطلقةَ تنطلقُ من البندقيَّةِ على ارتفاع 1.00 m، تكونُ المسافةُ الشاقوليةُ 4.00 m.



.2 **أستعملُ معكوسَ دالَّةِ الظلِّ لأحسبَ الزاويةَ بين السرعةِ الابتدائيَّةِ للطلقةِ والمحور x:**

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{4.00}{10.0}\right) = 21.8^{o}$$

.3 **أختارُ معادلةَ حركةٍ لحسابِ الزمن.**

أعيدُ ترتيبَ معادلةِ الحركةِ على المحور x لعزلِ الكمِّيَّةِ المجهولة Δt وهي الزمنُ اللازمُ للطلقةِ لقطعِ المسافةِ الأفقيَّة.

$$\Delta x = v_i (\cos\ \theta)\Delta t$$

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{v_i \cos\ \theta} = \frac{10.0\ \text{m}}{(50.0\ \text{m/s})(\cos 21.8^{o})} = 0.215\ \text{s}$$

.4 **أحسبُ المسافةَ التي يقطعُها كلّ من الطلقةِ والموزةِ خلال هذا الزمن.**

أستعملُ معادلةَ حركةِ السقوطِ الحرِّ في الحالتَيْن. بالنسبةِ إلى الموزة $v_i = 0$، لذلك:

$$\Delta y_b = \tfrac{1}{2} ay(\Delta t)^2 = \tfrac{1}{2}(-9.81\ \text{m/s}^2)(0.215\ \text{s})^2 = -0.227\ \text{m}$$

أما الطلقةُ، فالمركَّبةُ الشاقوليَّةُ لسرعتِها الابتدائيَّةِ هي $v_i \sin\theta_i$، لذلك:

$$\Delta y_d = (v_i \sin\theta_i)\Delta t + \tfrac{1}{2} ay(\Delta t)^2$$

$$\Delta y_d = (50.0\ \text{m/s})(\sin 21.8^{o})(0.215\ \text{s}) + \tfrac{1}{2}(-9.81\ \text{m/s}^2)(0.215\ \text{s})^2$$

$$\Delta y_d = 3.99\ \text{m} - 0.227\ \text{m} = 3.76\ \text{m}$$

.5 **أحلِّلُ النتائج**

أجدُ الارتفاعَ النهائيَّ لكلٍّ من الموزةِ والطلقة.

$$\Delta y_{b,f} = y_{b,i} + \Delta y_b = 5.00\ \text{m} + (-0.227\ \text{m}) = \boxed{4.77\ \text{m}\ \text{فوق الأرض}}$$

$$\Delta y_{d,f} = y_{d,i} + \Delta y_d = 1.00\ \text{m} + (+3.76\ \text{m}) = \boxed{4.76\ \text{m}\ \text{فوق الأرض}}$$

.6 **أقيِّم:** الطلقةُ تصيبُ الموزة. والاختلافُ البسيطُ بينَ الارتفاعيْن يعودُ إلى عمليَّةِ التدوير.

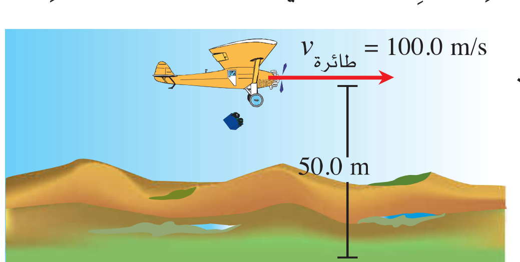
تطبيق 2 (هـ)

حركةُ المقذوفِ بزاويةٍ معينة

1. يقفزُ مغامرٌ في مشهدٍ سينمائيٍّ من سطحِ مبنًى إلى آخرَ يبعدُ عنه 4.0 m، وبعد أن يركضَ فوق السطحِ للتأهُّبِ ينطلقُ بزاويةِ 15° وبسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 5.0 m/s. هل باستطاعتِهِ الوصولُ إلى سطحِ المبنى الآخرِ الذي يقلُّ ارتفاعُهُ عن سطحِ المبنى الأوَّلِ 2.5 m؟
2. يضربُ لاعبُ الغولف كرتَهُ مسافةً أفقيةً تتجاوزُ 300 m. ما أعلى ارتفاعٍ تصلُهُ الكرةُ التي قُذفَتْ بزاويةِ 25.0° وقطعَتْ مسافةً أفقيةً مقدارُها 301.5 m ؟ (ملاحظة: عندَ أعلى نقطةٍ في التحليقِ تكونُ المركَّبةُ الرأسيةُ للسرعةِ صفرًا.)
3. قُذفتْ كرةُ بيسبول بزاويةِ 25° مع الأرضِ وبسرعةِ 23.0 m/s، والتُقطَتْ على بُعدِ 42.0 m من الرّامي. كم من الزمنِ بقيَتْ في الهواءِ؟ وكم كانَ ارتفاعُ أعلى نقطةٍ في مسارِها؟
4. يقفزُ سمكُ السلمونِ عادةً بعكسِ تدفُّقِ الشلالِ ليصلَ إلى مكانِ نشأتِه. إذا ابتدأ بالقفزِ من مسافةٍ أفقيةٍ 2.00 m من أسفلِ شلالٍ ارتفاعُهُ 0.55 m، ما مقدارُ الحدِّ الأدنى من السرعةِ التي ينبغي للسلمونِ أن يقفزَ بها، وبزاويةِ 32.0°، ليتعدَّى الشلالَ ويكملَ مسيرتَهُ بعكسِ التيارِ؟
5. رمى الظهيرُ كرةَ القدمِ بزاويةِ 40.0° مع الأرضِ. ما مقدارُ السرعةِ الابتدائيةِ اللازمةِ للكرةِ كي تصلَ إلى لاعبِ الهجومِ الذي يبعدُ مسافة 31.5 m ؟ ما ارتفاعُ أعلى نقطةٍ تصلُها الكرةُ خلالَ تحليقِها؟

مراجعةُ القسمِ 2-3

1. أيٌّ مما يلي يتحرَّكُ على مسارِ قطعٍ مكافئٍ؟
   أ. حصاةٌ مسطَّحةٌ تثبُ على سطحِ بحيرة.
   ب. رميةٌ ثلاثيةُ النِّقاطِ لكرةِ سلَّة.
   ج. مكّوكٌ فضائيٌّ يدورُ حولَ الأرض.
   د. كرةٌ ترتدُّ مرارًا داخلَ غرفة.
   هـ. غطّاسٌ يقفزُ عن صخرة.
   و. سترةُ نجاةٍ أسقطتْ من طوّافةٍ واقفةٍ في الهواء.
   ز. شخصٌ يقفزُ إلى الأمام.
2. خلالَ عاصفةٍ رعدية، يرفعُ إعصارٌ عربةً إلى علوِّ 125 m فوق الأرض. وبعد ازديادِ قوتِه، يدفعُها بسرعةٍ أوَّليةٍ أفقيةٍ مقدارُها 90.0 m/s . كم من الزمنِ تستغرقُ عودةُ العربةِ إلى الأرض؟ وما المسافةُ الأفقيةُ التي قطعتْها العربة؟
3. **تفسيرُ بيانات** تُسقط طائرةُ إنقاذٍ تابعةٌ لجمعيةِ الهلالِ الأحمرِ الكوردستانيِّ طردًا فيه مؤنٌ للحالاتِ الطارئة، كما في **الشكل 2-21**. تحلِّقُ الطائرةُ أفقيًّا بسرعةِ 30.0 m/s وعلى ارتفاعِ 200.0 m فوقَ الأرض.
   أ. ما المسافةُ الأفقيةُ التي يقطعُها الطردُ قبلَ وصولِه إلى الأرض؟
   ب. جِدْ سرعةَ الطردِ، مقدارًا واتِّجاهًا، لحظةَ اصطدامِه بالأرض.



الشكل 2-21

القسم 4-2

الحركةُ النسبيَّة

Relative Motion

4-2 أهدافُ القسمِ

- يصفُ الحالاتِ بدلالةِ المحاورِ المرجعيَّة.
- يحلُّ مسائلَ تتضمَّنُ السرعةَ النسبية.

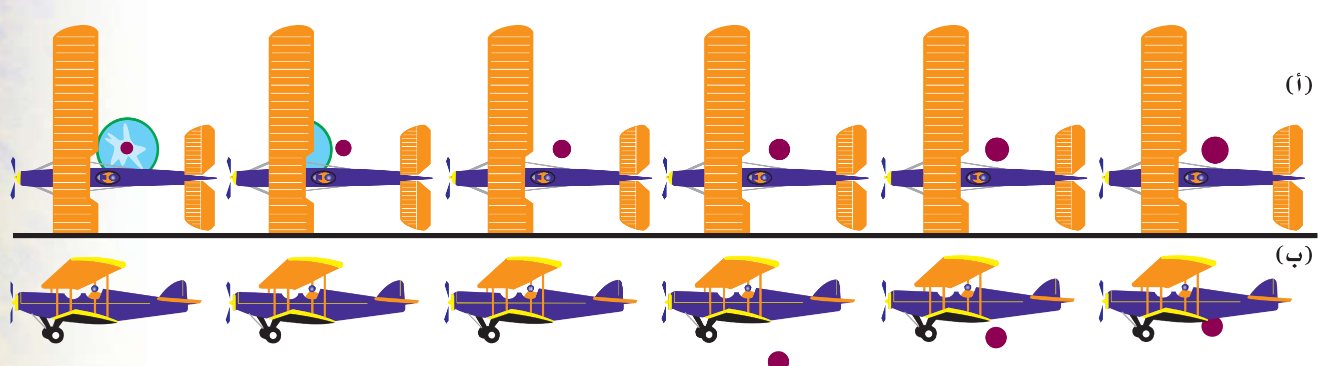
المحاورُ المرجعيَّة (مناط الاسناد)

أثناءَ وجودِكَ في سيّارةٍ تتحرَّكُ بسرعةِ 80 km/h شمالاً، تتجاوزُكَ سيّارةٌ أخرى بسرعةِ 90 km/h. يبدو بالنسبةِ إليك أنَّ السيّارةَ الأسرعَ تسيرُ شمالاً بسرعةٍ مقدارُها 10 km/h. أما سرعةُ السيّارةِ الأسرعِ بالنسبةِ إلى مراقبٍ على رصيفِ الطريقِ فتبلغُ 90 km/h باتِّجاهِ الشمال. يوضحُ لنا هذا المثالُ البسيطُ أنَّ السرعةَ تعتمدُ على المحورِ المرجعيِّ للمراقب.

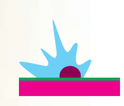
السرعةُ في المحاورِ المرجعيَّة المختلفة

يقيسُ المراقبونَ الموجودونَ في محاورَ مرجعيَّةٍ مختلفةٍ إزاحاتٍ وسرعاتٍ مختلفةً لجسمٍ متحرِّك. لذلك يمكنُ لمراقبَيْن متحرِّكَيْن أحدُهما بالنسبةِ إلى الآخرِ ألا يتَّفقا على تفسيرِ بعضِ جوانبِ حركةٍ معيَّنة. لنفترضْ أنَّ دميةً سقطَتْ من طائرةٍ تحلِّقُ أفقيًّا فوقَ سطحِ الأرضِ بسرعةٍ ثابتة، كما في **الشكل 22-2** (أ). يصفُ مسافرٌ على متنِ الطائرةِ حركةَ الدميةِ بأنها على خطٍّ مستقيمٍ باتِّجاهِ الأرض، بينما تبدو حركةُ الدميةِ لمراقبٍ على الأرضِ كحركةِ مقذوف، كما يظهرُ في **الشكل 22-2** (ب). بالنسبةِ إلى الأرض، سرعةُ الدميةِ لها مركَّبةٌ رأسيَّةٌ (ناتجة عن تعجيل السقوط الحر) وتساوي السرعةَ التي يقيسُها المسافرُ في الطائرة. ولسرعةِ الدميةِ أيضًا مركَّبةٌ أفقيةٌ نتيجةً لحركةِ الطائرة.

إذا أكملتِ الطائرةُ مسارَها الأفقيَّ بالسرعةِ نفسِها، تصلُ الدميةُ إلى سطحِ بركةِ السباحةِ الواقعةِ مباشرةً تحتَ الطائرة (مع إهمالِ مقاومةِ الهواء).







الشكل 22-2

(أ) بالنسبةِ إلى مراقبٍ في الطائرة، تبدو الدميةُ المتمثِّلةُ ببقعةٍ حمراءَ داكنةٍ كأنَّها تسقطُ رأسيًّا إلى أسفل. (ب) بالنسبةِ إلى مراقبٍ على الأرضِ تسيرُ الدميةُ على مسارِ قطعٍ مكافئ.

السرعةِ النسبية

في حالةِ السيّارةِ السريعةِ التي تجاوزَتْ سيّارتَكَ لا تحتاجُ أنتَ إلى جهدٍ للوصول إلى النتيجةِ المرجوَّة. قد تواجهُ حالاتٍ أصعبَ، مما يضطرُّكَ إلى استعمالِ طريقةٍ أكثرَ منهجيةً وفائدةً لحلِّ المسائل. لتطويرِ هذه الطريقةِ، تُكتَبُ المعلوماتُ المعطاةُ والتي يتعيَّنُ الحصولُ عليها على شكلِ سرعاتٍ ذاتِ رموزٍ سفليةٍ كالتالي:

$\vec{v}_{se}$ = +80 km/h شمالاً

الرمزُ السفليُّ se يعني سرعةَ السيّارةِ الأبطأ (s) بالنسبةِ إلى الأرض (e).

$\vec{v}_{fe}$ = +90 km/h شمالاً

الرمزُ السفليُّ fe يعني سرعةَ السيّارةِ الأسرعِ (f) بالنسبةِ إلى الأرض (e).

لإيجادِ السرعةِ $\vec{v}_{fs}$ للسيّارةِ الأسرعِ بالنسبةِ إلى السيّارةِ الأبطأ، تُكتَبُ معادلتُها بدلالةِ السرعتَيْنِ الأخريَيْن، بحيثُ تبدأُ الرموزُ السفليةُ في الطرفِ الأيسرِ للمعادلةِ بـ f وتنتهي بـ s. لكن إلى يمينِ المعادلةِ فإنَّ الرمزَ السفليَّ لأيِّ سرعةٍ يبتدئُ بالحرفِ الذي انتهى به الرمزُ السفليُّ للسرعةِ السابقة.

$$\vec{v}_{fs} = \vec{v}_{fe} + \vec{v}_{es}$$

هذا التوجُّهُ في إضافةِ الرموزِ السفلية يشابهُ عمليةَ جمعِ المتَّجَهات، حيثُ تُرسَمُ المتَّجهاتُ بوضعِ رأسِ متَّجهٍ على ذيلِ متَّجهٍ آخرَ لبلوغِ المحصِّلة.

إذا أخذْنا اتِّجاهَ الشمالِ موجبًا، نجدُ أنَّ $\vec{v}_{es} = -\vec{v}_{se}$، تكونُ سرعةُ السيّارةِ الأبطأ بالنسبةِ إلى مراقبٍ على الأرضِ +80 km/h، بينما تكونُ سرعةُ الأرضِ بالنسبةِ إلى مراقبٍ في السيّارةِ الأبطأ 80 km/h باتِّجاهِ الجنوبِ أو 80 km/h–. بالتالي تحلُّ المسألةُ على الطريقةِ التالية:

$$\vec{v}_{fs} = \vec{v}_{fe} + \vec{v}_{es} = \vec{v}_{fe} - \vec{v}_{se}$$

$$\vec{v}_{fs} = +90 \text{ km/h} - 80 \text{ km/h} = +10 \text{ km/h}$$

العلامةُ الموجبةُ تبيِّنُ أنَّ السيّارةَ الأسرعِ (بالنسبةِ إلى ركّابِ السيّارةِ الأبطأ) متوجِّهةٌ شمالاً بسرعةِ 10 km/h.

يَسَعُكَ استعمالُ المعادلةِ أعلاهُ واتِّباعُ التقنيةِ السابقةِ في كتابةِ الرموزِ السفليةِ في مسائلَ مشابهة.

هل تعلم؟

تعتمدُ الإزاحةُ والتعجيلُ، مثل السرعة، على المحورِ المرجعيِّ الذي يتمُّ فيه قياسُهما. من المفيدِ أحيانًا تصوُّرُ الجاذبيةِ كما لو أن الأرضَ تتسارعُ في اتِّجاهِ المقذوفِ وليس العكس.

الفيزياءُ والحياة

1. تسارُعُ مصعد:

أسقطَ ولدٌ كرةً مطّاطيةً صغيرةً داخلَ مصعدٍ يتحرَّكُ إلى أسفلَ في اللحظةِ التي أخذَ فيها المصعدُ يتباطأ. هل كان تعجيلُ الكرةِ بالنسبةِ إلى المصعدِ أعلى أم أدنى من تعجيلِها بالنسبةِ إلى سطحِ الأرض؟

2. حاملةُ الطائرات:

لماذا تحطُّ الطائرةُ على مؤخَّرِ حاملةِ الطائراتِ بدلاً من مقدَّمِها؟



مثال 2 (و)

السرعةُ النسبية

المسألة

يعبرُ قاربٌ نهرًا متوجِّهًا شمالاً بسرعةِ 10.00 km/h بالنسبةِ إلى الماء، بينَما تجري مياهُ النهرِ شرقًا بسرعةِ 5.00 km/h. حدِّدْ سرعةَ القاربِ بالنسبةِ إلى مراقبٍ على ضفَّةِ النهر.

الحــل

1. أعرِّف

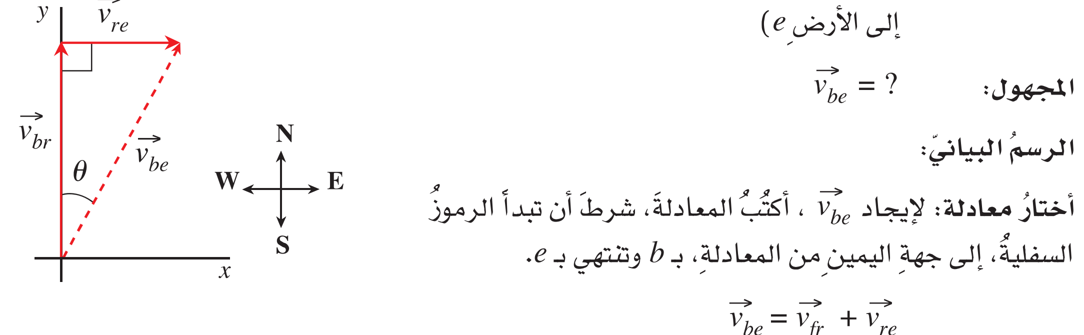
المعطى: شمالاً $\vec{v}_{br} = 10.00$ km/h (سرعةُ القاربِ b بالنسبةِ إلى النهرِ r)

شرقًا $\vec{v}_{re} = 5.00$ km/h (سرعةُ مياهِ النهرِ r بالنسبةِ إلى الأرضِ e)

المجهول: $\vec{v}_{be} = ?$

2. أخطِّط

الرسمُ البيانيّ:



أختارُ معادلة: لإيجادِ $\vec{v}_{be}$ ، أكتُبُ المعادلةَ، شرطَ أن تبدأَ الرموزُ السفليةُ، إلى جهةِ اليمينِ من المعادلةِ، بـ b وتنتهي بـ e.

$$\vec{v}_{be} = \vec{v}_{fr} + \vec{v}_{re}$$

كما في **القسم 2-2** أستعملُ نظريةَ فيثاغورس لحسابِ مقدارِ محصِّلةِ السرعة، ودالَّةَ الظلِّ للحصولِ على الاتِّجاه.

$$(v_{be})^2 = (v_{br})^2 + (v_{re})^2$$

$$\tan\theta = \frac{v_{re}}{v_{br}}$$

للحصولِ على المجهولَيْن، أعيدُ ترتيبَ المعادلات:

$$v_{be} = \sqrt{(v_{br})^2 + (v_{re})^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{v_{re}}{v_{br}}\right)$$

3. أحسب

أعوِّضُ قيمةَ المجهولِ في المعادلة:

$$v_{be} = \sqrt{(10.00\ \text{km/h})^2 + (5.00\ \text{km/h})^2}$$

$$\boxed{v_{be} = 11.18\ \text{km/h}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{5.00}{10.00}\right) \Rightarrow \boxed{\theta = 26.6°}$$

4. أقيِّم

أستنتجُ أنَّ القاربَ ينتقلُ بسرعةِ 11.18 km/h بزاويةِ 26.6° شرقَ شمال، بالنسبةِ إلى الأرض.

تطبيق 2 (و)

السرعةُ النسبية

1. يقفُ مسافرٌ في مؤخَّرِ قطارٍ سرعتهُ 15 m/s بالنسبةِ إلى الأرض ويرمي كرةً بسرعةِ 15 m/s عكسَ اتِّجاهِ حركةِ القطار. ما سرعةُ الكرةِ لحظةَ رميها بالنسبةِ إلى الأرض؟ اشرحْ طريقةَ عملك.
2. ذهبتْ عائلةٌ في رحلةٍ بحريَّةٍ على متنِ سفينةٍ في ميناءِ بيروت. إذا ركضَ الولدُ هيوا إلى مؤخَّرِ السفينةِ بسرعةِ 3.5 m/s، والسفينةُ تتحرَّكُ بسرعةِ 18.0 m/s، فما سرعةُ هيوا بالنسبةِ إلى مراقبٍ يقفُ على رصيفِ الميناء؟ بيِّن طريقةَ استنتاجِك.
3. يعبرُ قاربٌ نهرًا في اتِّجاهِ الشمالِ بسرعةِ 2.5 m/s بالنسبةِ إلى الماءِ، في حين أنَّ سرعةَ النهرِ 3.0 m/s
   نحوَ الشرق. ما سرعةُ القاربِ بالنسبةِ إلى الأرض؟ (ملاحظة: احرِصْ أن يتضمَّنَ الشرحُ اتِّجاهَ السرعة.)
4. تتحرَّكُ شاحنةٌ لنقلِ الحيواناتِ الأليفةِ بسرعةِ 25.0 m/s شمالاً على طريقٍ عامٍّ. يتحرَّكُ أرنبٌ داخلَ الشاحنةِ بسرعةِ 1.75 m/s، بزاويةِ 35.0° شرقَ شمال. ما سرعةُ الأرنبِ بالنسبةِ إلى الطريق؟

مراجعةُ القسم 2-4

1. تتحرَّكُ أمرأةٌ على درّاجةٍ ذاتِ عشرِ سرعات، بسرعةِ 9 m/s بالنسبةِ إلى الأرض، ويصادَفُ صبيٌّ على درّاجةٍ بثلاثِ عَجَلاتٍ يسيرُ في الاتِّجاهِ المعاكس.
   إذا كانتْ سرعةُ الصبيِّ بالنسبةِ إلى الأرضِ 1 m/s، فكم تكونُ سرعتُهُ بالنسبةِ إلى المرأة؟ وضِّح استنتاجَك.
2. تدحرجُ بنتٌ كرةً في أحدِ المطاراتِ العالميَّةِ في اتِّجاهِ الشمالِ على ممشىً يتحرَّكُ شرقًا. إذا كانَ مقدارُ سرعةِ الكرةِ بالنسبةِ إلى الممشى 0.15 m/s، ومقدارُ سرعةِ الممشى بالنسبةِ إلى الأرضِ 1.50 m/s، فما سرعةُ الكرةِ بالنسبةِ إلى الأرض؟
3. **تفكيرٌ ناقد** اشرحْ حركةَ الأجسامِ التاليةِ بالنسبةِ إلى المحورِ المرجعيِّ المذكورِ في النصّ:
   - أ. شخصٌ واقفٌ على الرصيفِ يُراقبُهُ شخصٌ في قطارٍ يتحرَّكُ شمالاً.
   - ب. قطارٌ يتحرَّكُ شمالاً يراهُ شخصٌ واقفٌ على السفينة.
   - ج. ولدٌ يراقبُ كرةً سقطَتْ من يدِهِ وهو يسيرُ بسرعةِ 1 m/s.
   - د. كرةٌ سقطَتْ من ولدٍ يتحرَّكُ بسرعةِ 1 m/s، كما يراها شخصٌ واقفٌ إلى جانبِ الولد.

مِهَن الفيزياء

أخصائيُّ حركةِ الأجسامِ



تقومُ غريفن باستعمالِ التحفيزِ الكهربائيِّ لعصبٍ معصمِ يدِ مريض. تفحصت هذه التجربةُ النماذجَ المُثلى لإعادةِ الحركةِ إلى الأيدي المشلولة.

كيف تتحرَّكُ أجسامُنا؟ إنَّه واحدٌ من أسئلةٍ كثيرةٍ يطرحُها علمُ حركةِ الأجسامِ Kinesiology. لمعرفةِ المزيدِ عن هذا العلمِ كمهنة، اقرأ المقابلةَ التاليةَ مع ليزا غريفين، المدرِّسةِ في قسمِ علمِ حركةِ الأجسامِ والتربيةِ الغذائيةِ في جامعةِ تكساس في أوستن بالولاياتِ المتَّحدةِ الأمريكيَّة.

ما دوراتُ التدريبِ التي خضعْتِ لها بحيثُ أصبحتِ أخصّائيَّةً في علمِ حركةِ الأجسامِ؟

حصلْتُ على ليسانس في علمِ حركةِ الجسمِ الإنسانيِّ مع تخصُّصٍ فرعيٍّ في الكيمياءِ الحياتيَّة، ثمّ حصلْتُ على ماجيستير ودكتوراه في الأمراضِ العصبيَّة. يختصُّ علمُ حركةِ الأجسامِ بمحرِّكاتِ التحكُّمِ والميكانيكا الحياتيَّةِ وتمارينِ الأعضاءِ ووظائفِها. يُسمى العاملون في هذه الفروعِ بأطبّاءِ الأمراضِ العصبيَّةِ وأخصائيي الميكانيكا الحياتيَّةِ وعلماءِ الفيزيولوجيا (وظائفِ الأعضاءِ).

ما الذي جعلَكِ تهتمّين بعلمِ حركةِ الأجسامِ؟

إنّ تخصُّصَ حركة الأجسامِ يساعدُني على فهمِ تأثيرِ النظامِ العصبيِّ المركزي (CNS) في حركةِ جسمِ الإنسان. لذلك نحنُ نعملُ مع الناس، والنتائجُ التي نحصلُ عليها يمكنُ أن تُستعملَ في مساعدةِ الآخرين.

ما طبيعةُ الأبحاثِ التي تقومين بها؟

نقومُ بتسجيلِ القوى الناتجةِ ونماذجِ الطبقاتِ الميكانيكيَّةِ لوحدةِ المحرِّكِ المنفردِ التي تصدرُّها أعصابُ الأشخاصِ المشاركين خلالَ فترتَي التعبِ والتدريب. نستعملُ نماذجَ التردُّدِ هذه لتحفيزِ يدِ الإنسانِ بطريقةٍ اصطناعيَّةٍ كهربائيَّة. نعملُ من أجلِ تطويرِ نظامٍ كهربائيٍّ يمكنُ أن يستعملَه المصابون بالشللِ لتحريكِ أطرافِهم. يمكنُ أن يؤدّيَ ذلك إلى مساعدةِ الكثيرِ ممَّن تعرَّضوا لإصاباتٍ في عمودِهم الفقريِّ خلالَ حوادثَ معيَّنة، أو ممَّن تعرَّضوا لتلفٍ في الدماغِ نتيجةَ جلطةٍ دماغيَّة.

كيفَ تستعملينَ الحركةَ في بُعدَيْنِ والمتَّجهاتِ في عملِك؟

أنا أبحثُ في تردُّداتِ طلقاتِ المولِّدِ اللازمةِ لتوليدِ قوى ناتجةٍ من العضلاتِ مع مرورِ الزمن. لذلك نقومُ بتسجيلِ انقباضِ العضلاتِ باستعمالِ قياسِ قوَّةِ الانفعالِ ومحوِّلٍ قنطريٍّ ومحوِّلِ بياناتٍ من رقميٍّ إلى كهربيٍّ وبرنامجِ حاسوبٍ لتحليلِ النتائج. مثلاً تُنتِجُ أصابعُ اليدِ قوى في الاتّجاهَيْنِ x و y، لذلك نسجِّلُ القوَّتَيْنِ x و y على قناتَيْنِ مختلفتَيْن، ثمّ نحصلُ على محصِّلتهما لمراقبةِ القوَّةِ الناتجةِ خلالَ الانقباض.

ما أكثر ما تحبّينَه في عملِك؟ وما الذي يزعجُك فيه؟

أكثرُ ما أحبُّه في عملي هو البحثُ عن أفكارٍ جديدةٍ والعملُ مع طلاّبٍ يعشقون عملَهم. أمّا ما يزعجني فهو الوقتُ الطويلُ اللازمُ للقيامِ بالتجاربِ والحصولِ على نتائجِها، للتأكُّدِ من صحَّةِ الأفكارِ الجديدة.

بِمَ تنصحينَ الطلاَّبَ المهتمّين بهذا المجال؟

لا تقلِّلوا من أهمّيَّةِ وعمقِ الأسئلةِ التي تتعلَّقُ بشؤونِ الإنسان.

ملخّصُ الفصل 2

مصطلحاتٌ أساسية

الكمِّيةُ العددية
Scalar quantity (ص 40)

الكمِّيةُ الاتِّجاهيَّة
Vector quantity (ص 40)

المحصِّلة Resultant (ص 41)

مركَّباتُ المتَّجه
Components of a vector (ص 48)

حركةُ المقذوف
Projectile motion (ص 55)

أفكارٌ أساسية

القسم 2-1 مدخلٌ إلى المتَّجَهات

- الكمِّيةُ العدديةُ يمكنُ تحديدُها تماماً بوساطةِ مقدارِها ووحدةِ قياسٍ مناسبة. أما الكمِّيةُ الاتِّجاهيَّةُ فلها مقدارٌ واتِّجاه.
- يمكنُ جمعُ المتَّجَهاتِ بيانيًّا باستعمالِ طريقةِ المثلَّثات، وذلك بوضعِ ذيلِ المتَّجَهِ الثاني فوقَ رأسِ المتَّجَهِ الأول. وتكونُ المحصِّلةُ: متَّجهًا رأسُهُ عندَ رأسِ المتَّجَهِ الثاني وذيلُهُ عند ذيلِ المتَّجَهِ الأول.

القسم 2-2 عملياتُ المتَّجهات

- يمكنُ استعمالُ نظريةِ فيثاغورس ودالة الظل لإيجادِ مقدارِ واتِّجاهِ محصِّلةِ متَّجَهات.
- يمكنُ استعمالُ دالَّتَي الجيبِ وجيبِ التمامِ لتحليلِ المتَّجهاتِ إلى مركَّباتِها.

القسم 2-3 حركةُ المقذوفات

- مع إهمالِ تأثيرِ مقاومةِ الهواءِ، يكونُ للمقذوفِ سرعةٌ أفقيةٌ ثابتةٌ وتعجيلٌ ثابتٌ إلى أسفلَ هو تعجيلُ السقوطِ الحرِّ.
- بانعدامِ مقاومةِ الهواءِ تتَّبعُ المقذوفاتُ مسارَ القطعِ المكافئ.

القسم 2-4 الحركةُ النسبية

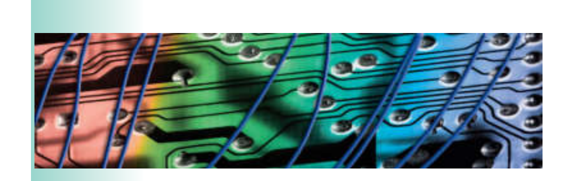
- إذا أُشيرَ إلى المحورِ المرجعيِّ برموزٍ سفليةٍ ($\vec{v}_{ab}$ سرعةُ a بالنسبةِ إلى b). عندئذٍ تُكتَبُ سرعةُ الجسمِ في محورٍ مرجعيٍّ آخَرَ بجمعِ السرعاتِ المعطاة، شرطَ أن يبدأَ رمزُ أيِّ سرعةٍ لاحقةٍ بالرمزِ الذي تنتهي به السرعةُ السابقة. $\vec{v}_{ab} = \vec{v}_{ac} + \vec{v}_{cb}$
- إذا عُكسَ ترتيبُ الرموزِ السفليةِ للسرعةِ ينعكسُ اتِّجاهُها كما في المثال:
$\vec{v}_{cd} = -\vec{v}_{dc}$

رموزُ الأشكال

متَّجهُ الإزاحة	→ (أسود)
متَّجهُ السرعة	→ (أحمر)
متَّجهُ التعجيل	→ (أزرق)
متَّجهُ المحصِّلة	- - - - →
مركَّبة	⇒

رموزُ المتغيِّرات

كمّياتٌ فيزيائية			الوحدات
$\vec{d}$	(متَّجه)	إزاحة	m
$\vec{v}$	(متَّجه)	سرعة	m/s
$\vec{a}$	(متَّجه)	تعجيل	m/s^2
Δx	(كمِّيةٌ عددية)	مركَّبةٌ أفقية	m
Δy	(كمِّيةٌ عددية)	مركَّبةٌ رأسية	m



مراجعةُ الفصل 2

راجع وقيِّم

مدخلٌ إلى المتَّجهات

أسئلةُ مراجعة

1. مقدارُ المتَّجَه هو كمِّيةٌ عددية. اشرحْ هذه العبارة.

2. متَّجهانِ غيرُ متساويَيْن في المقدار، هل يمكنُ أن تكونَ محصَّلتُهما صفرًا؟ اشرحْ.

3. ما العلاقةُ بين السرعةِ اللحظيةِ ومقدارِها؟

4. كيف تعبِّرُ عن 30 m/s- غربًا بطريقةٍ أخرى؟

5. هل يمكنُكَ جمعُ كمِّيةٍ اتِّجاهيةٍ مع كمِّيةٍ عددية؟ اشرحْ.

6. المتَّجَهُ $\vec{A}$ مقدارُهُ 3.00 وحدات طولية في الاتِّجاهِ الموجبِ للمحورِ x، والمتَّجهُ $\vec{B}$ مقدارُهُ 4.00 وحدات طولية في الاتِّجاهِ السالبِ للمحورِ y. استعملِ الطرقَ البيانيةَ لإيجادِ مقدارِ المتَّجهاتِ التاليةِ واتِّجاهِها:

أ. $\vec{A} + \vec{B}$

ب. $\vec{A} - \vec{B}$

ج. $\vec{A} + 2\vec{B}$

د. $\vec{B} - \vec{A}$

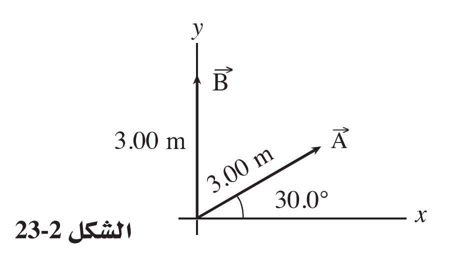
7. لكلٍّ من مُتَّجَهَي الإزاحةِ $\vec{A}$ و $\vec{B}$ الظاهرين في **الشكل 23-2** مقدارُ 3.00 m، جِدْ ما يلي بيانيًّا:

أ. $\vec{A} + \vec{B}$

ب. $\vec{A} - \vec{B}$

ج. $\vec{B} - \vec{A}$

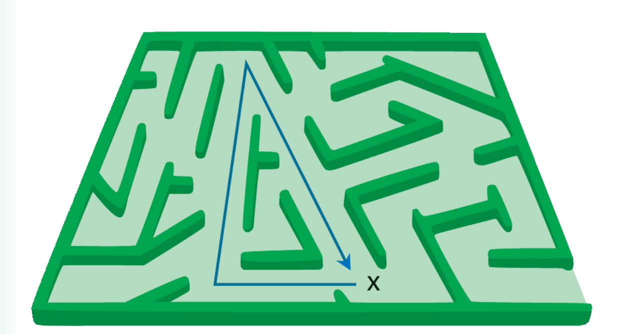
د. $\vec{A} - 2\vec{B}$



الشكل 23-2

8. يبحثُ ذئبٌ عن فريسةٍ، فيمشي 3.50 m جنوبًا ثم 8.20 m بزاويةِ 30.0° نحوَ الشمالِ الشرقيِّ، وأخيرًا 15.0 m غربًا. استعملْ تقنيةَ الرسمِ البيانيِّ لإيجادِ الإزاحةِ المحصِّلة.

9. تاهَ رجلٌ بعدَما قطعَ ثلاثَ إزاحاتٍ متتاليةٍ ليعودَ إلى نقطةِ انطلاقِه. كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 24-2**، الإزاحةُ الأولى مقدارُها 8.00 m باتِّجاهِ الغربِ، والثانيةُ 13.0 m باتِّجاهِ الشمال. استعملِ الطريقةَ البيانيةَ لإيجادِ الإزاحةِ الثالثة.



الشكل 24-2

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

10. المتَّجهُ $\vec{B}$ جُمِعَ مع المتَّجهِ $\vec{A}$. في أيِّ حالةٍ يساوي مقدارُ المحصَّلةِ A + B ؟

11. أعطِ مثلاً على جسمٍ متحرِّكٍ سرعتُهُ وتعجيلُهُ في اتِّجاهٍ واحد، ومثلاً آخرَ على جسمٍ سرعتُه وتعجيلُهُ في اتِّجاهَيْنِ متعاكسَيْن.

12. استعملَتْ طالبةٌ طريقةَ جمعِ المتَّجهاتِ بشكلٍ صحيحٍ في جمعِها لمتَّجهين مقدارُ الواحدِ 55 وحدةً والثاني 25 وحدة. والنتيجةُ التي حصلَتْ عليها هي إما 85 أو 20 أو 55 وحدة. اخترِ الجوابَ الوحيدَ الصحيحَ وعلِّلِ اختيارَك.

13. إذا رُتِّبَتْ عدَّةُ متَّجهاتٍ بطريقةِ وضعِ ذيلِ كلِّ متَّجهٍ عندَ رأسِ المتَّجهِ السابقِ وحصلْنا على مضلَّعٍ مغلق، تكونُ محصِّلةُ هذه المتَّجهاتِ صفرًا. هل تَعتبرُ هذا صحيحًا؟ اشرحْ.

عملياتُ المتَّجهات

أسئلةُ مراجعة

14. هل يمكنُ لمقدارِ متَّجهٍ ألاّ يكونَ صفرًا إذا كانت إحدى مركَّباتِه صفرًا؟

15 هل يمكنُ أن يكونَ لمتَّجهٍ مركَّبةٌ مقدارُها أكبرُ من مقدارِه؟

16. اشرحِ الفرقَ بينَ جمعِ المتَّجهاتِ وتحليلِها.

17. كيف يمكنُ جمعُ متَّجهَيْن غيرِ متعامدَيْن أو متوازيَيْن؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

18. إذا كانَ لديكَ $\vec{A}+\vec{B}=\vec{0}$، فماذا تستنتجُ عن لمركَّبتَيْ هذَيْن المتَّجهَيْن؟

19. وفقًا لأيِّ شروطٍ يكونُ لمتَّجهٍ مركَّبتانِ متساويتانِ في المقدار؟

20. ما العلاقةُ بين متَّجهاتٍ ثلاثةٍ محصِّلتُها صفر؟

مسائلُ تطبيقية

21. سارَ موزِّعُ الجرائدِ غربًا ومرَّ بثلاثةِ مبانٍ، ثم شمالاً ومرَّ بأربعةِ مبانٍ، ثم شرقًا ومرَّ بستةِ مبانٍ.

أ. ما إزاحتُهُ الكلِّيّة؟

ب. ما المسافةُ التي قطعَها؟

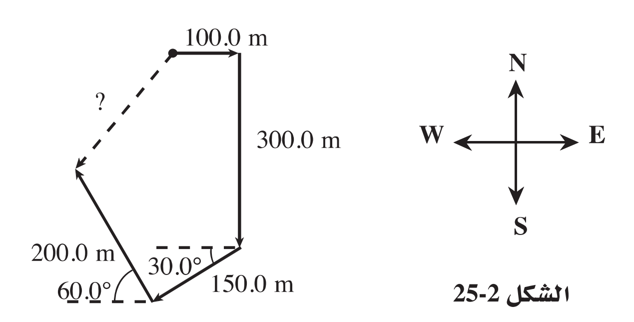
22. يلتقطُ الظهيرُ الكرةَ من خطِّ الوسطِ في منتصفِ الملعبِ ويركضُ إلى الخلفِ 10 m، ثم جانبًا بشكلٍ موازٍ لخطِّ الوسطِ مسافةَ 15.0 m. يرمي الكرةَ بعدَها مسافةَ 50.0 m باتِّجاهِ طولِ الملعب. ما مقدارُ الإزاحةِ الكلِّيةِ للكرة؟

23. يدفعُ عاملٌ عربةً في ممرٍّ داخلَ متجرٍ مسافةَ 40.0m جنوبًا. يديرُ بعدها العربةَ بزاويةِ 90.0° ويحرِّكُها 15.0 m ثم يدورُ بها ثانيةً بزاويةِ 90.0° ليقطعَ 20.0 m. جِدِ الإزاحةَ الكلِّيةَ للعربة. لاحظْ أنَّ اتِّجاهَ التحرُّكِ بعد كلِّ دورةٍ بزاويةِ 90.0° غيرُ محدَّدٍ، ونتيجةً لذلكَ لا بدَّ أن تحصلَ على أكثرِ من إجابة.

24. تغوصُ غوّاصةٌ 110.0 m بزاويةِ 10.0° تحتَ الأفق. ما مركَّبتا إزاحةِ الغواصةِ الأفقيةِ والرأسيَّة؟

25. يمشي شخصٌ مسافةَ 3.10 km بزاويةِ 25.0° شمالَ شرق. ما المسافةُ التي يمشيها شخصٌ آخرُ نحوَ الشمالِ ثم نحوَ الشرقِ ليصلَ إلى الموقعِ نفسِه الذي وصلَ إليه الأول؟

26. يمشي شخصٌ المسارَ المبيَّنَ في **الشكل 25-2** ليقومَ برحلةٍ كلِّيةٍ مؤلَّفةٍ من أربعةِ مساراتٍ مستقيمة. ما إزاحةُ هذا الشخصِ بدءًا من نقطةِ انطلاقِه؟



الشكل 25-2

حركةُ المقذوفات

أسئلةُ مراجعة

27. أُطلقتْ رصاصةٌ أفقيًّا من مسدس، وأخرى سقطتْ في الآنِ ذاتهِ من الارتفاعِ نفسِه. إذا أهملْنا مقاومةَ الهواءِ، أيُّ الرصاصتَيْن تصلُ أوّلاً إلى الأرض؟

28. إذا سقطَ حجرٌ من أعلى الصاري في المركبِ، هل يصيبُ النقطةَ نفسَها على سطحِ المركبِ سواءٌ كانَ المركبُ ساكنًا أو متحرِّكًا بسرعةٍ ثابتة؟

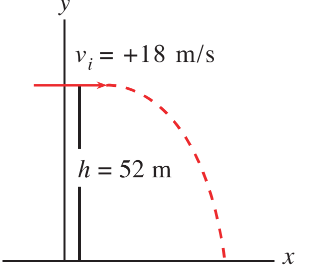
29. هل تستغرقُ كرةٌ سقطَتْ من شبَّاكِ سيّارةٍ متحرِّكةٍ لتصلَ إلى الأرضِ وقتًا أطولَ من كرةٍ سقطتْ من الارتفاعِ نفسِه من سيّارةٍ متوقِّفة؟

30. سقطَ حجرٌ في اللحظةِ نفسِها التي قُذفتْ فيها كرةٌ أفقيًّا ومن الارتفاعِ نفسِه. أيٌّ منهما مقدارُ سرعتِه أكبرُ عند الوصولِ إلى الأرض؟

مسائلُ تطبيقية

31. سُجِّلت أسرعُ رميةِ بيسبول في العامِ 1974. رُميت الكرةُ أفقيًّا وسقطَتْ رأسيًّا مسافةَ 0.809 m عند بلوغِها مركزَ السقوطِ الذي يبعدُ مسافةَ 18.3 m عن نقطةِ الرمي. كم كانتِ السرعةُ الابتدائيةُ للكرة؟

32. ركلَ شخصٌ حجرًا عن حافةِ جرفٍ يعلو 52 m فوقَ مستوى سطحِ الماءِ بسرعةِ 18 m/s، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 26-2**. كم يستغرقُ سقوطُ الحجرِ ليصلَ إلى الماء؟ ما سرعتُه عند وصولِه إلى الماء؟



الشكل 26-2

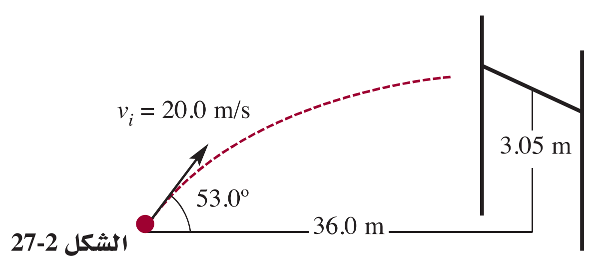
33. تطاردُ الشرطةِ لِصًّا يستقلُّ قاربًا مستعملةً مركبًا أسرع. يدركُ مركبُ الشرطةِ قاربَ اللصِّ عند حافةِ شلالٍ يعلو 5.0 m عن سطحِ الماء. إذا كانت سرعةُ الشرطة، عندَ تلكَ اللحظة، 26 m/s وسرعةُ اللصِّ 15 m/s، كم يكونُ بُعدُ المركبِ عن القاربِ عندما يصلان إلى سطحِ الماءِ في أسفلِ الشلالِ؟

34. أُطلقَتْ قذيفةٌ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 1.70×10^3 m/s (تبلغُ تقريبًا خمسةَ أضعافِ سرعةِ الصوت) وبزاويةِ $55.0°$ مع سطحِ الأرضِ الأفقيّ. مهملاً مقاومةَ الهواء، جِدْ:

أ. المدى الأفقيَّ للقذيفة.

ب. الفترةَ الزمنيةَ لحركةِ القذيفة.

35. يتمُّ تسجيلُ الهدفِ في إحدى ألعابِ الكرةِ حين تتجاوزُ الكرةُ العارضةَ على ارتفاعِ 3.05 m على أن تبقى بين العمودَيْن، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 27-2**. يركلُ لاعبٌ الكرةَ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 20.0 m/s بزاويةِ $53.0°$ مع الأفقيِّ من مسافةِ 36.0 m من المرمى.



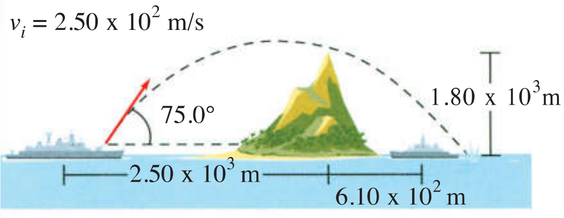
الشكل 27-2

أ. هل تتجاوزُ الكرةُ العارضةَ أم لا؟ كم مترًا يكونُ التجاوزُ إذا حدث؟

ب. هل تقتربُ الكرةُ من العارضةِ أثناءَ الصعودِ أم أثناءَ الهبوط؟

36. عند رشِّ الماءِ من مسدَّسٍ مائيٍّ مثبَّتٍ أفقيًّا على علوٍّ 1.00 m فوقَ الأرض، ينطلقُ الماءُ مسافةً أفقيةً مقدارُها 5.00 m. تمسكُ سارا بالمسدَّسِ أفقيًّا، وتنزلقُ نزولاً بزاويةِ $45.0°$ وبسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 2.00 m/s. ترشُّ سارا الماءَ من المسدَّسِ عندَ وصولِها إلى علوِّ 1.00 m فوقَ الأرض. ما المسافةُ الأفقيةُ التي يقطعُها الماءُ خلالَ 0.329 s؟

37. تناورُ سفينةٌ على مسافةٍ أفقيةٍ مقدارُها 2.50×10^3 m من قمَّةِ جبلٍ في جزيرةٍ ترتفعُ 1.80×10^3 m. أطلقَتِ السفينةُ المناورةُ قذيفةً على سفينةٍ عدوَّةٍ في الجهةِ الأخرى من القمَّةِ تبعدُ عنها مسافةً أفقيةً مقدارُها 6.10×10^2 m، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 28-2**. إذا أُطلقَتِ القذيفةُ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 2.50×10^2 m/s وبزاويةِ $75.0°$، فكم يكونُ بُعدُ نقطةِ اصطدامِها بالماءِ عن سفينةِ العدوِّ؟ وما بُعدُها الرأسيُّ عن القمَّةِ عندَما تكونُ فوقَها مباشرة؟



الشكل 28-2

الحركةُ النسبية

أسئلةُ مراجعة

38. اشرحِ العبارةَ الآتية: «كلُّ حركةٍ تعتبرُ نسبية».

39. ما المحاورُ المرجعيَّة؟

40. ما المحاورُ المرجعيَّةُ المتعارَفُ عليها لوصفِ الحركة؟

41. تحلِّقُ طائرةٌ صغيرةٌ بسرعةِ 50 m/s باتِّجاهِ الشرق. هبَّتْ رياحٌ فجأةً باتِّجاهِ الشرقِ بسرعةِ 20 m/s، فزادَتْ سرعةُ الطائرةِ إلى 70 m/s شرقًا.

أ. أيٌّ من السرعاتِ المذكورةِ هي المحصِّلة؟

ب. ما مقدارُ سرعةِ الرياح؟

42. رُميَتْ كرةٌ رأسيًّا إلى أعلى في الهواءِ بوساطةِ مسافرٍ في قطارٍ سرعتُهُ ثابتة.

أ. صفْ مسارَ الكرةِ كما يراها المسافرُ، وكما يراها شخصٌ واقفٌ خارجَ القطار.

ب. كيف يتغيَّرُ رصدُ الحركةِ إذا تسارعَ القطار؟

مسائلُ تطبيقية

43. يتدفَّقُ نهرٌ باتِّجاهِ الشرقِ بسرعةِ 1.50 m/s. يعبرُ قاربُ النهرَ من الضفَّةِ الجنوبيةِ إلى الضفَّةِ الشماليةِ محافظًا على سرعةٍ ثابتةٍ في اتِّجاهِ الشمالِ مقدارُها 10.0 m/s بالنسبةِ إلى الماء.

أ. ما سرعةُ القاربِ كما يراها شخصٌ واقفٌ على الضفَّة؟

ب. إذا كانَ عرضُ النهرِ 325 m، فكم تكونُ إزاحةُ القاربِ في اتِّجاهِ مجرى النهرِ عند بلوغِهِ الضفَّةَ الشمالية؟

44. يرغبُ قائدٌ بالطيرانِ نحوَ الغربِ بينَما تهبُّ رياحٌ سرعتُها 50.0 km/h نحوَ الجنوب. إذا كانت سرعةُ الطائرةِ في غيابِ الرياحِ 205 km/h:

أ. فبأيِّ زاويةٍ مع الغربِ يجبُ أن تحلِّقَ الطائرةُ في الجوِّ؟

ب. ما مقدارُ سرعتِها بالنسبةِ إلى الأرضِ؟

45. يرغبُ صيّادٌ في عبورِ نهرٍ عرضُهُ 1.5 km وسرعةُ تدفُّقهِ 5.0km/h. استعملَ الصيّادُ قاربًا بمحرِّكٍ سرعتُهُ القصوى 12 km/h بالنسبةِ إلى الماءِ. ما أقلُّ فترةٍ زمنيةٍ لازمةٍ لعبورِ هذا النهرِ؟

46. تبلغُ سرعةُ سبّاحٍ في مياهٍ راكدةٍ 9.50 m/s. يرغبُ هذا السبّاحُ في قطعِ نهرٍ عرضًا. إذا كانت سرعةُ ماءِ النهرِ 3.75 m/s:

أ. فبأيِّ زاويةٍ مع اتِّجاهِ سرعةِ الماءِ يجبُ أن ينطلقَ السبّاحُ؟

ب. ما سرعتُهُ بالنسبةِ إلى الضفَّةِ؟

مراجعةٌ عامة

47. يضربُ لاعبُ بيسبول الكرةَ من ارتفاعِ 1.0 m فوقَ الأرضِ، وبزاويةِ 35.0° فوقَ الأفقيِّ. تتجاوزُ الكرةُ حائطًا ارتفاعُهُ 21.0 m ويبعدُ 130.0 m عن اللاعب. (أهمل مقاومة الهواء)

أ. ما السرعةُ الابتدائيةُ للكرةِ؟

ب. ما الزمنُ اللازمُ لوصولِ الكرةِ إلى الحائطِ؟

ج. ما مركَّباتُ سرعةِ الكرةِ ومقدارُها عند بلوغِها الحائطَ؟

48. يستعدُّ هاوٍ للقفزِ فوقَ حفرةٍ عرضُها 12 m فينطلقُ لأجلِ ذلك بسيّارةٍ إلى أعلى منحدرٍ يميلُ بزاويةِ 15° فوقَ الأفقيِّ.

أ. ما أدنى سرعةٍ تلزمُهُ كي يتمكَّنَ من اجتيازِ الحفرةِ؟

ب. ما سرعتُهُ عند وصولِهِ إلى الجهةِ الأخرى؟

49. لاعبُ كرةِ سلَّةٍ طولُه 2.00 m يحاولُ تسجيلَ هدفٍ من مسافةِ 10.00 m في السلَّةِ التي ترتفعُ 3.05 m. إذا رمى الكرةَ بزاويةِ 45.0°، فبأيِّ سرعةٍ ابتدائيةٍ عليه رميُها كي تدخلَ دونَ اصطدامٍ باللوحِ الخلفيِّ؟

50. يقفُ رجلٌ على سلَّمٍ كهربائيٍّ طولُهُ 20.0 m، تلزمُهُ فترةُ 50.0 s للانتقالِ من الطابقِ السفليِّ إلى العلويِّ.

أ. إذا مشى صعودًا على السلَّمِ المتحرِّكِ بسرعةِ 0.500 m/s بالنسبةِ إلى السلَّمِ، فكم من الزمنِ يستغرقُ وصولُهُ إلى الطابقِ العلويِّ؟

ب. إذا مشى الرجلُ نزولاً على السلَّمِ الذي يتحرَّكُ صعودًا بالسرعةِ النسبيةِ نفسِها في الفرعِ (أ)، فكم من الزمنِ يستغرقُ وصولُهُ إلى الطابقِ السفليِّ؟

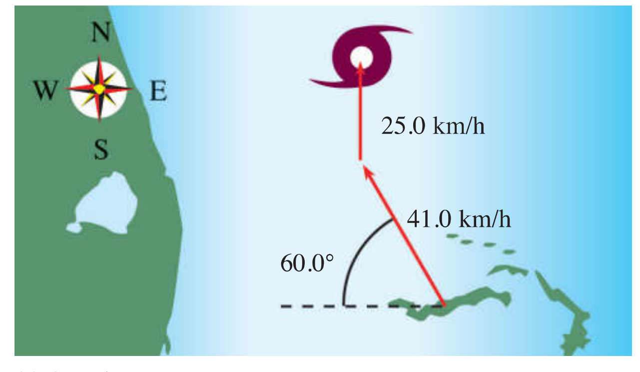
51. قُذفَتْ كرةٌ أفقيًّا من حافةِ طاولةٍ ارتفاعُها عن الأرضِ 1.00 m واصطدمَتْ بالأرضِ عند نقطةٍ تبعدُ 1.20 m عن قاعدةِ الطاولةِ.

أ. ما السرعةُ الابتدائيةُ لهذه الكرةِ؟

ب. كم يكونُ ارتفاعُ الكرةِ عن الأرضِ عندما يكونُ متَّجهُ سرعتِها مائلاً بزاويةِ 45.0° تحتَ الأفقيِّ؟

52. كم من الزمنِ يلزمُ لسيّارةٍ تسيرُ بسرعةِ 60.0 km/h لتصبحَ بموازاةِ سيّارةٍ أخرى تسيرُ بسرعةِ 40.0 km/h، إذا كانت المسافةُ الأوَّليةُ بين مقدَّمَيِ السيّارتَيْنِ 125.0 m؟

53. يمرُّ إعصارٌ فوقَ جزيرةِ باهاما الكبرى متحرِّكًا في اتِّجاهِ 60.0° غربَ شمالٍ، وبسرعةِ 41.0 km/h، وبعد ثلاثِ ساعاتٍ تتغيَّرُ وجهةُ الإعصارِ نحوَ الشمالِ مع انخفاضٍ في سرعتِه إلى 25.0 km/h، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 2-29**. كم يكونُ بُعْدُ الإعصارِ عن الجزيرةِ بعدَ 4.50 h من مرورِهِ فوقَها؟



الشكل 2-29

54. يتحرَّكُ قاربٌ عبرَ نهرٍ بسرعةِ 7.5 m/s بالنسبةِ إلى الماءِ. إذا كانت سرعةُ الماءِ في النهرِ 1.5 m/s، كم من الزمنِ يلزمُهُ لينجزَ رحلةَ ذهابٍ وإيابٍ مؤلَّفةً من إزاحةٍ مقدارُها 250 m باتِّجاهِ مجرى النهرِ وإزاحةٍ مقدارُها 250 m عكسَ مجرى النهرِ؟

55. تقفُ سيّارةٌ عند أعلى منحدرٍ يميلُ بزاويةِ 24.0° تحتَ الأفقيِّ فوقَ جُرُفٍ يُطلُّ على المحيط. يتركُ السائقُ المهملُ سيّارتَهُ دونَ مكابحَ فتنزلقُ نزولاً بتعجيلٍ مقدارُه $4.00\ m/s^2$، وتقطعُ 50.0 m حتى تصلَ إلى حافةِ الجرفِ التي تعلو 30.0 m فوقَ المحيطِ.

أ. ما موقعُ السيّارةِ بالنسبةِ إلى أسفل الجُرْفِ عند سقوطها في المحيط؟

ب. كم بقيتِ السيّارةُ في الهواء؟

56. أُطلقَتْ كرةُ غولف بزاويةِ 34° مع الأفقيِّ، وقطعَتْ مدًى أفقيًّا مقدارُه 240 m على أرضٍ مستوية.

أ. مع إهمالِ مقاومةِ الهواءِ، ما السرعةُ الابتدائيةُ للكرةِ حتى تتحقَّقَ هذه النتيجة؟

ب. باستعمالِ السرعةِ التي حدَّدتَ في الفرعِ (أ)، جِدْ أعلى ارتفاعٍ تصلُه الكرة.

57. تنطلقُ سيّارةٌ بسرعةِ 50.0 km/h شرقًا. ينهمرُ المطرُ عموديًّا بالنسبةِ إلى الأرضِ فيشكِّلُ خطوطًا على نوافذِ السيّارةِ الجانبيةِ تميلُ بزاويةِ 60.0° مع الشاقول. جِدْ سرعةَ المطرِ بالنسبة إلى:

أ. السيّارة.

ب. الأرض.

58. يقطعُ متسوِّقٌ المسافةَ بين طابقَيْ متجرٍ خلالَ 30.0 s سيرًا على سلّمٍ كهربائيٍّ متوقِّف. بينما يلزمُهُ 20.0 s ليقطعَ المسافةَ نفسَها واقفًا على السلَّمِ المتحرِّك. افترضْ أنَّ المتسوِّقَ يؤدّي الجهدَ نفسَهُ في حركتِه سواءٌ كانَ السُّلَّمُ واقفًا أو متحرِّكًا، كم من الزمنِ يلزمُهُ لقطعِ المسافةِ ذاتِها إذا سارَ على السلَّمِ المتحرِّك؟

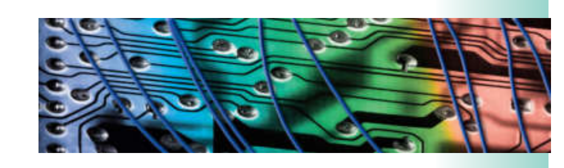
المشاريعُ والتقاريرُ

1. اعملْ في مجموعاتٍ متعاونةٍ لتحليلِ لعبةِ شطرنجٍ بدلالةِ متَّجَهاتِ الإزاحة. اصنعْ نموذجَ شطرنج، وارسُمْ، للدلالةِ على كلِّ التحرُّكاتِ المحتملةِ لكلِّ قطعة، أسهمًا كمتَّجَهاتٍ لها مركَّبتانِ أفقيةٌ ورأسية. عندها دعِ اثنَيْنِ من مجموعتِكَ يلعبا بينما يراقبُ كلٌّ من الباقينَ تحرُّكاتِ كلِّ قطعة. كنْ جاهزًا لتوضيحِ استعمالِ جمعِ المتَّجَهاتِ لشرحِ الموضعِ الذي تصيرُ إليه قطعةٌ معيَّنةٌ بعد عدَّةِ تحرُّكات.

2. استعملْ خرطومَ مياهِ الحديقةِ للتحقُّقِ من قوانينِ المقذوفات. خطِّطْ لتجاربَ تدرسُ من خلالِها تأثيرَ زاويةِ الخرطومِ (مع الأفقيِّ) على مدى تيّارِ المياه. (افترضْ أنّ السرعةَ الابتدائيةَ للمياهِ ثابتةٌ من خلالِ تثبيتِ ضغطِها في الحنفية). ما الكمِّياتُ التي تقيسُها؟ ما المتغيِّراتُ التي عليكَ ضبطُها؟ ما شكلُ التيّارِ المائيّ؟ كيف تحصلُ على أكبرِ مدى؟ كيف تصلُ إلى أعلى نقطة؟ قدِّمْ نتائجَكَ لبقيةِ زملائِكَ في الصفِّ، وناقِشِ النتائج.

3. تخيَّلْ أنكَ تساعدُ في تنفيذِ مخطَّطٍ لملعبِ كرةِ سلَّةٍ في مستعمرةٍ على سطحِ القمر. كيف تتوقَّعُ أن تكونَ حركةُ الكرةِ على سطحِ القمرِ بالنسبةِ إلى حركتِها على الأرض؟ ما التغيُّراتُ بالنسبةِ إلى اللاّعبين؟ كيف يتحرَّكون؟ وكيف يقذفونَ الكرة؟ ما التغيُّراتُ التي تقترحُها لقياساتِ الملعبِ ولعلوِّ السلَّةِ وغيرِ ذلك من الأنظمة، من أجلِ مواءمةِ اللعبةِ مع جاذبيةِ القمرِ المنخفضة؟ قدِّمْ نصًّا أو تقريرًا يتضمَّنُ اقتراحاتِك، واذكرِ المبادئَ الفيزيائيةَ التي اعتمدتَها في توصياتِك.

4. هناك شهادتان متناقضتان في قضيَّةٍ أمامَ محكمة. يدّعي رجلُ الشرطةِ أنَّ راداره أشارَ إلى أنَّ سرعةَ السيّارةِ كانَت 176 km/h، بينما يقولُ السائقُ أنَّ قراءةَ الرادارِ تشيرُ إلى السرعةِ النسبيَّةِ لأنَّ سرعتَه الحقيقيَّة كانت 88 km/h فقط. هل يمكنُ أن تكونَ شهادةُ كلٍّ منهما صحيحة؟ هل يمكنُ أن يكونَ أحدُهما كاذبًا؟ قمْ بتحضيرِ نصوصٍ لمحامي الادّعاءِ ومحامي الدفاعِ تستعملُ فيها الفيزياءَ لتبريرِ موقفِ كلٍّ منهما أمامَ لجنةِ المحلِّفين. فكِّرْ بمساعداتٍ بصريَّةٍ لاستعمالِها لدعمِ وجهةِ نظرِ كلٍّ من الفريقَيْن.



تقويمُ الفصل 2

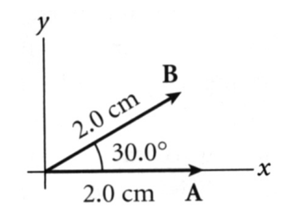
اختيارٌ من متعدِّد

1. مقدارُ متَّجه $\vec{A}$ 30 وحدة، المتَّجه $\vec{B}$ عموديٌّ على المتَّجهِ $\vec{A}$ ومقدارُه 40 وحدة. ما مقدارُ المتَّجهِ $\vec{A}+\vec{B}$؟

أ. 10 وحدات　　ج. 70 وحدة

ب. 50 وحدة　　د. صفرًا

استعملِ الرسمَ أدناهُ للإجابةِ عن السؤالَيْن 2-3.



2. ما اتِّجاهُ المحصِّلةِ $\vec{A}+\vec{B}$؟

أ. 15° فوقَ المحورِ x　　ج. 15° تحتَ المحورِ x

ب. 75° فوقَ المحورِ x　　د. 75° تحتَ المحورِ x

3. ما اتِّجاهُ المحصَّلةِ $\vec{A}-\vec{B}$؟

أ. 15° فوقَ المحورِ x　　ج. 15° تحتَ المحورِ x

ب. 75° فوقَ المحورِ x　　د. 75° تحتَ المحورِ x

استعملِ المعلوماتِ أدناهُ للإجابةِ عن السؤالَيْن 4-5.

يتحرَّكُ مركبٌ مزوَّدٌ بمحرِّكٍ بسرعة 5.0 m/s نحو الشرقِ في مياهِ نهرٍ تتدفَّقُ بسرعةِ 5.0 m/s باتِّجاهِ الجنوب.

4. ما محصِّلةُ سرعةِ المركبِ بالنسبةِ إلى مراقبٍ على ضفَّةِ النهر؟

أ. 3.2 m/s نحوَ الجنوبِ الشرقي

ب. 5.0 m/s نحوَ الجنوبِ الشرقي

ج. 7.1 m/s نحوَ الجنوبِ الشرقي

د. 10.0 m/s نحوَ الجنوبِ الشرقي

5. إذا كانَ عرضُ النهرِ 125 m، فكم يستغرقُ وصولُ المركب إلى الضفَّةِ الأخرى للنهر؟

أ. 39 s　　ج. 17 s

ب. 25 s　　د. 12 s

6. سرعةُ الهواءِ بالنسبةِ إلى طيّارٍ تبلغُ 165 km/h باتِّجاهِ الجنوب. يرصدُ أحدُ المراقبين على سطحِ الأرض حركةَ الطائرةِ فوقَه فيراها تسيرُ بسرعةِ 145 km/h باتِّجاهِ الشمال. كم تكونُ سرعةُ الهواءِ الذي يؤثِّرُ في الطائرةِ بالنسبةِ إلى المراقبِ على سطحِ الأرض؟

أ. 20 km/h باتِّجاهِ الشمال

ب. 20 km/h باتِّجاهِ الجنوب

ج. 165 km/h باتِّجاهِ الشمال

د. 310 km/h باتِّجاهِ الجنوب

7. يلزمُ أحد لاعبي الغولف ضربتَيْن لإسقاطِ الكرةِ في الحفرةِ في أحدِ الملاعب. تزيحُ الضربةُ الأولى الكرةَ مسافةَ 6.00 m باتِّجاهِ الشرق، بينَما تزيحُها الضربةُ الثانية 5.40 m باتِّجاهِ الجنوب. ما الإزاحةُ اللازمةُ لوضعِ الكرةِ في الحفرةِ في ضربةٍ واحدة؟

أ. 11.40 m بالاتِّجاهِ الجنوبِ الشرقي

ب. 8.07 m وبزاوية 48.0° جنوبَ شرق.

ج. 3.32 m وبزاوية 42.0° جنوبَ شرق.

د. 8.07 m وبزاوية 48.0° جنوبَ شرق.

استعملِ المعلوماتِ أدناهُ للإجابةِ عن الأسئلة 8-11.

تقذفُ فتاةٌ على درّاجة سرعتُها 2.0 m/s كرةَ مضربٍ بسرعةٍ أفقيَّةٍ إلى الأمامِ مقدارُها 1.0 m/s وعلى ارتفاع 1.5 m. في اللحظةِ نفسِها يُلقي صبيٌّ واقفٌ على الرصيفِ بكُرةٍ أخرى من ارتفاعِ 1.5 m.

8. ما السرعةُ الابتدائيَّةُ للكرةِ التي قذفَتْها الفتاةُ بالنسبةِ إلى الصبيّ؟

أ. 1.0 m/s　　ج. 2.0 m/s

ب. 1.5 m/s　　د. 3.0 m/s

9. أيّ الكُرتَيْن تصلُ إلى الأرضِ أوّلاً؟ (أهملْ مقاومةَ الهواء)

أ. الكرةُ التي ألقاها الصبي.

ب. الكرةُ التي قذفَتْها الفتاة.

ج. الكرتان تصلان معًا.

د. المعلوماتُ لا تكفي لإعطاءِ إجابة.

10. بإهمالِ مقاومة الهواءِ، أيُّ الكرتَيْنِ تصلُ إلى الأرضِ بسرعةٍ أكبر بالنسبةِ إلى مراقبٍ على الأرض؟
أ. الكرةُ التي ألقاها الصبيّ.
ب. الكرةُ التي قذفَتْها الفتاة.
ج. الكُرتان تصلان بالسرعةِ ذاتها.
د. المعلوماتُ لا تكفي لإعطاءِ إجابة.

11. ما سرعةُ الكرةِ التي قذفَتْها الفتاةُ لحظةَ تصادمها بالأرض؟

أ. 1.0 m/s	ج. 6.2 m/s
ب. 3.0 m/s	د. 8.4 m/s

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

12. إذا كانَت مركَّبةُ أحدِ المتَّجهاتِ صفرًا في اتِّجاهِ متَّجهٍ آخر، فما الذي تستنتجَه عن المتَّجهَيْن؟

13. ينزلقُ لاعبٌ مسافةَ 41.1 m على مسارٍ يميلُ بزاويةِ 40.0^o فوقَ المستوي الأفقيّ. ما المسافتان الأفقيَّة والشاقوليَّة اللتان يقطعُهما اللاعب؟

14. تُقذفُ كرةٌ شاقوليًّا إلى أعلى فتعودُ إلى الأرض بعد 3.00 s من حركتِها في الهواء، بينما تُقذفُ كُرةٌ أخرى بزاوية 30^o مع الأفقيّ. ما السرعةُ الابتدائيَّةُ التي يجبُ أن تقذفَ فيها الكرةُ الثانيةُ بحيثُ تصلُ إلى الارتفاعِ الأقصى نفسِه الذي تصلُ إليه الكرةُ الأولى؟

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوّلة

15. أُطلِقَ رجلٌ من مدفعٍ بشريٍّ بزاوية 45.0^o مع الأفقيِّ وبسرعةٍ ابتدائيَّةٍ 25.0 m/s. وُضعَتْ شبكةٌ لالتقاطِ الرجلِ على مسافةٍ أفقيَّةٍ 50.0 m من المدفع. كم يجبُ أن يكونَ ارتفاعُ الشبكةِ عن موقعِ المدفعِ بحيثُ يتمُّ التقاطُ الرجلِ بسلام؟

اقرأ المثالَ التالي لكي تجيبَ عن السؤال 16.

يتناقشُ ثلاثةُ مسؤولين في إحدى شركاتِ الطيرانِ في أفكارٍ لتطويرِ رحلاتٍ ذات كفاءةٍ أكبرَ للطاقة.

المسؤول أ: لأنَّ الأرضَ تدورُ من الغربِ إلى الشرقِ، يمكنُنا استعمالُ «الطائراتُ الساكنة» كالطائراتِ المروحيَّةِ أو المركباتِ الفضائيَّةِ التي تنطلقُ شاقوليًّا إلى أعلى من نيويورك وتبقى في الجوّ أربعَ ساعاتٍ ثمَّ تسقطُ شاقوليًّا إلى أسفل حيث تحطُّ في سان فرنسيسكو نتيجةً لدورانِ الأرض.

المسؤول ب: يمكنُ استعمالُ هذه الطريقةِ في رحلاتِ الذهابِ فقط والعودة تستغرقُ 20 ساعة.

المسؤول ج: لا يمكنُ الاستفادةُ من هذه الطريقة. فكِّرْ في إطلاقِ كرةٍ إلى أعلى في الاتِّجاهِ الشاقوليّ، إنَّها تعودُ إلى نقطةِ الانطلاقِ نفسها.

المسؤول أ: تعودُ الكرةُ إلى النقطةِ نفسها لأنَّ دورانَ الأرضِ خلالَ هذه الفترة ليسَ مهمًّا.

16. أيٌّ من المسؤولين على حقّ؟ ولماذا؟ اشرحْ إجابتَك في فِقْرة.



الفصـــــل 3

قوانينُ نيوتنُ للحركة
Newton's Law of Motion

يضعُ الفنّيون في شركةِ جنرال موتورز في ولايةِ ميشيغن الأميركيَّة دميةَ اختبارٍ خلفَ مقْودِ سيّارةٍ جديدة. عندَ تعرُّضِ السيّارةِ لتصادمٍ مع الجوار، تتابعُ الدميةُ انطلاقَها إلى الأمامِ فتصطدمُ بلوحةِ مفاتيحِ السيّارة. تقومُ لوحةُ المفاتيحِ عندَها ببذلِ قوّةٍ على الدميةِ ما يؤدّي إلى تعجيلها إلى الخلف، كما هو موضحٌ في الرسم. تسجّلُ المجسّاتُ الموجودةُ داخلَ الدميةِ القوى والتعجيلاتِ الناتجةَ من عمليَّةِ التصادم.



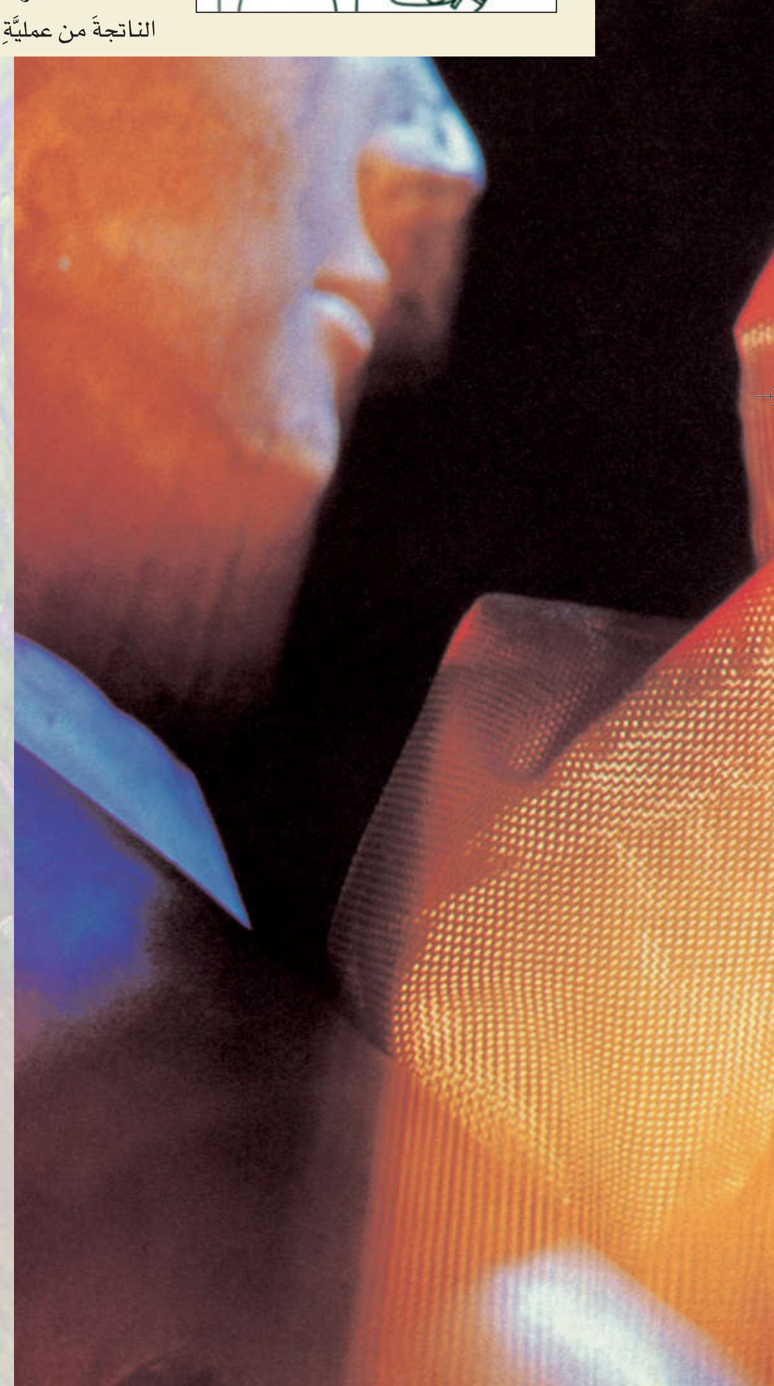
ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

سوف تتعلَّمُ في هذا الفصل، تحليل التفاعلاتِ بينَ الأجسامِ عن طريقِ تحديدِ القوى المؤثِّرة. عندها، ستتمكَّنُ من توقُّعِ وفهمِ أنواعٍ مختلفةٍ من الحركةِ.

ما أهمّيَّتُهُ

تؤدّي القوى دورًا مهمًّا في الهندسة. يدرسُ الفنّيون مثلاً التعجيلَ والقوى المؤثِّرةَ في عمليَّةِ تصادمٍ لسيّارة، وذلك من أجلِ تصميمِ سيّاراتٍ أكثرَ أمانًا وأنظمةٍ أكثرَ فاعليَّة.

محتوى الفصل 3



القسم 1-3

التغيرات في الحركة
Changes in Motion

1-3 أهدافُ القسم

- يشرحُ كيفَ تُؤثِّرُ القوّةُ في حركةِ جسمٍ معينٍ.
- يرسُمُ ويشرحُ مخطَّطاتِ القوى.

القـوَّة

مفهومُ القوَّةِ يعني عادةً الشدَّ أو الدفعَ اللذَيْنِ يمكنُ أن نطبِّقَهما على جسمٍ معيَّن. عندَما تَقذِفُ كرةً أو تركلُها فإنكَ تؤثِّرُ فيها بقوَّةٍ معيَّنة. كذلك وأنتَ تطبِّقُ قوَّةً على الكرسيِّ الذي تجلسُ عليه. **فالقوَّةُ** force تمثِّلُ التأثيرَ المتبادلَ بين الجسمِ ومحيطِه.

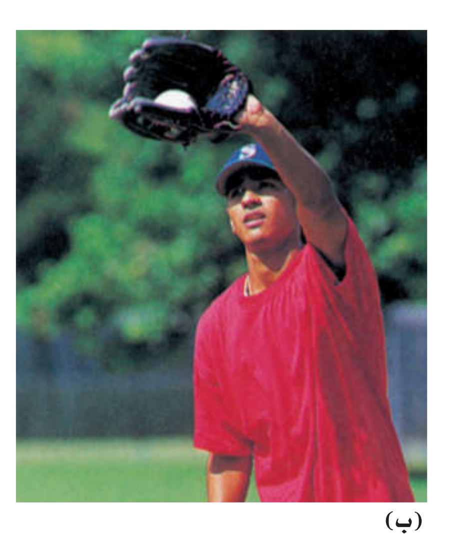
القوّة

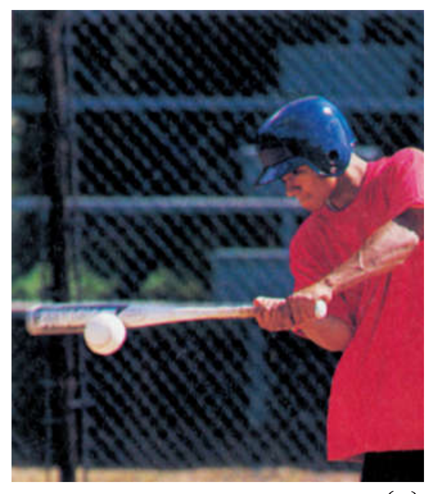
هي التأثيرُ الذي يطبَّقُ على جسم، مسبِّبًا تغيُّرَ حالتِه السكونية أو الحركية.

القُوى والتغيُّرُ في السرعة

كثيرًا ما يؤدّي تأثيرُ قوَّةٍ في جسمٍ إلى تغيُّرٍ في سرعتِه. يُظهرُ **الشكلُ 1-3** أمثلةً على ذلك. والقوَّةُ تحرِّكُ كذلك جسمًا ساكنًا، كما يحدثُ عند رميِ الكرة، وتوقفُ جسمًا عن الحركة، كما يحدثُ عند استعمالِ مكابحِ (فرامل) السيّارةِ أو عندَ التقاطِ كرة. وهي تغيِّرُ اتِّجاهَ حركةِ جسم، كما يحْدثُ عند ارتطامِ الكرةِ بالمضربِ ولدى ارتدادِها في اتِّجاهٍ مختلف. كذلك يمكنُ لقوَّةٍ أن تحدثَ تغيُّرًا في شكلِ جسمٍ دون أن تحرِّكَه، كما يحدثُ عندَ ضغطِ كرةٍ على جدار.


(أ)


(ب)


(ج)

الشكل 1-3

يمكنُ للقوّةِ أن تجعلَ الجسمَ (أ) يبدأُ بالحركة، (ب) يتوقّفُ عن الحركة، (ج) يغيِّرُ اتجاهَ الحركة.

وحدةُ قياسِ القوَّةِ في النظامِ الدوليِّ للوحدات

إنَّ وحدةَ قياسِ القوَّةِ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ (SI) هي النيوتن. اعتُمِدَ ذلك تكريمًا للعالمِ إسحق نيوتن (1642–1727) الذي أدَّتْ مساهماتُهُ العلميةُ إلى فهمٍ أفضلَ للقوَّةِ والحركة. تُعرَّفُ وحدةُ (النيوتن) بأنها مقدارُ القوَّةِ التي تُحدِثُ تعجيلاً مقدارُه $1\ m/s^2$ عندَما تؤثِّرُ في جسمٍ كتلتُهُ 1 kg.

إنَّ وزنَ أيِّ جسمٍ هو مقياسٌ لمقدارِ قوَّةِ الجاذبيةِ التي تؤثِّرُ في ذلك الجسم. فالوزنُ نتيجةٌ للتجاذبِ بين كتلةِ الجسمِ ومجالِ جاذبيةِ جسمٍ آخر، كالكرةِ الأرضيةِ مثلاً.

القوى تؤثِّرُ بالتلامسِ أو عن بُعد

عندَما تشدُّ نابضًا فإنك تحدثُ فيه استطالة، وعندَما تدفعُ عربةً فإنك تحرِّكُها، كذلك تتوقَّفُ حركةُ الكرةِ عندَ التقاطِها. تسمّى قوى الشدِّ والدفعِ هذه **قوى تماس** contact forces، لأنها تنتجُ من تماسٍّ فعليٍّ بين جسمَيْن. ومن السهولةِ الاستدلالُ على هذا النوعِ من القوى عندَ تحليلِ موقفٍ معيَّن.

وهناك نوعٌ آخرُ من القوى لا يستدعي تلامسًا فعليًّا بين جسمَيْن، يُسمّى **القوى المجالية** field forces. أحدُ الأمثلةِ على هذه القوى هو قوَّةُ الجاذبية. عندَما يسقطُ جسمٌ نحوَ الأرضِ فإنه يتسارعُ نتيجةَ تأثيرِ جاذبيةِ الأرضِ فيه. وهذا يعني أنَّ الأرضَ تؤثِّرُ بقوَّةٍ في الجسمِ حتى مع عدمِ التماسّ.

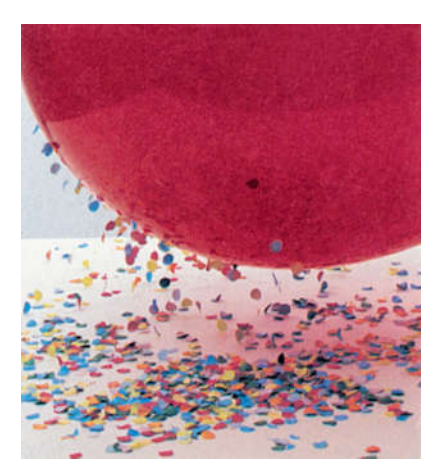
من القوى المجاليةِ قوَّةُ التنافرِ أو التجاذبِ بين شحنتَيْن كهربيتَيْن. يمكنُكَ ملاحظةُ تأثيرِ هذه القوَّةِ عندَ التقاطِ بالونٍ لقطعٍ صغيرةٍ من الورقِ بعد حكِّهِ بشعرِكَ، كما يبدو في **الشكل 3-2**.

قوَّةُ التَّماس

القوَّةُ الناتجةُ من تماسٍّ مباشرٍ بين جسمَيْن.

القوَّةُ المجالية

القوَّةُ بينَ جسمَيْن حتّى في غيابِ أيِّ تماسٍّ مباشرٍ بينهما.



الشكل 3-2

المجالُ الكهربائيُّ حولَ البالونِ يتسبَّبُ في قوَّةِ جذبٍ للوُرَيْقاتِ الصغيرة.

مخطَّطاتُ القوى

إذا دفعْتَ سيّارةً–لعبةً دفعةً محدودةً إلى الأمام، تلاحظُ أنها لا تسيرُ بالسرعةِ التي تكتسبُها فيما لو دفعْتَها دفعةً أقوى. يعتمدُ تأثيرُ أيِّ قوَّةٍ على مقدارِها، ومقدارُ القوَّةِ في الدفعةِ الثانيةِ أكبر. ويعتمدُ تأثيرُ القوَّةِ على اتِّجاهِها أيضًا. فمثلاً إذا دفعْتَ السيّارةَ من مقدَّمِها فإنَّها تسيرُ في اتِّجاهٍ يختلفُ عن اتِّجاهِ حركتِها لدى دفعِكَ لها من مؤخَّرِها.

القوَّةُ كمِّيةٌ اتِّجاهيَّة

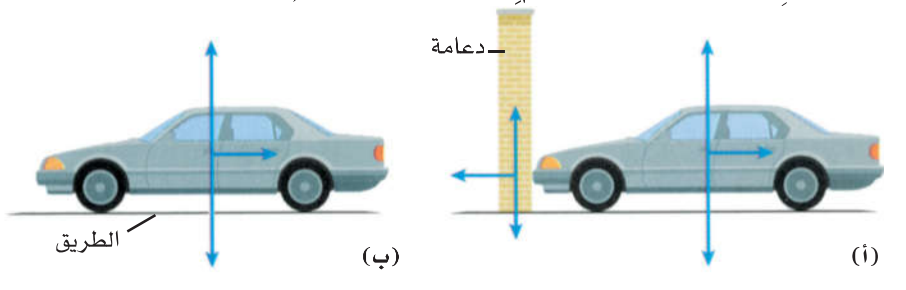
القوَّةُ كمِّيةٌ اتِّجاهيةٌ لأنَّ تأثيرَها يعتمدُ على مقدارِها واتِّجاهِها. المخطَّطاتُ التي تُظهرُ متَّجَهاتِ القوى في صورةِ أسهمٍ تُسمّى **مخطَّطاتِ القوى** force diagrams، كما في **الشكل 3-3** (أ). يكون لونُ الأسهمِ التي تعبِّرُ عن القوى في هذا الكتابِ أزرق، ويرتبطُ ذيلُهُ بالجسمِ الذي تؤثِّرُ القوَّةُ فيه. يمكنُ استعمالُ هذه المخطَّطاتِ كأدواتٍ أثناءَ تحليلِ التصادماتِ وفي حالاتٍ أخرى. تُرسَمُ القوى، في مخطَّطاتِ القوى، وكأنها تؤثِّرُ جميعُها في مركزِ ثقلِ الجسم، بغضِّ النظرِ عن نقاطِ تأثيرِها الفعلية.

مخطَّطُ القوى

لدراسةِ تجربةِ تصادم، يضعُ المهندسونَ مخطَّطًا يبيِّنُ السيّارةَ معزولةً عن الأجسامِ المحيطةِ بها، ثم يحدِّدونَ القوى المؤثِّرةَ فيها. يوضّحُ مخطَّطُ القوى المؤثِّرةِ في السيّارةِ في **الشكل 3-3** (ب) عمليةَ التصادمِ نفسَها كما في **الشكل 3-3** (أ)، لكنّه يُظهرُ فقط

مخطَّطُ القوى

مخطَّطٌ للأجسامِ في موقفٍ معيَّنٍ، وللقوى المؤثِّرةِ فيها.



الشكل 3-3

(أ) تُمثِّلُ الأسهمُ في مخطَّطِ القوى جميعَ القوى المؤثِّرةِ في جميعِ الأجسام. (ب) يُظهرُ المخطَّطُ القوى التي تؤثِّرُ في جسمٍ واحدٍ فقط، هو السيّارةُ في هذه الحالة.

السيّارةَ والقوى المؤثِّرةَ فيها. أما القوى التي تؤثِّرُ بها السيّارةُ في الأجسامِ الأخرى فلا تؤخذُ في الاعتبارِ في مخطَّطِ القوى، لأنها لا تؤثِّرُ في حركةِ السيّارة.

يمكنُ استعمالُ مخطَّطِ القوى لتحليلِ تأثيراتِها في حركةِ جسمٍ واحدٍ فقط. وهي تُركَّبُ وتُحلَّلُ كباقي مخطَّطاتِ المتَّجَهات.

تُظهرُ الصورةُ في **الشكل 3-4** (أ) سيّارةً يتمُّ جرُّها برافعةٍ وهي تتأثَّرُ بعدَّةِ قوى. فالرافعةُ تؤثِّرُ في السيّارةِ بقوَّةٍ في اتِّجاهِ الحبل، والطريقُ تؤثِّرُ فيها بقوَّةٍ أخرى، وتتأثَّرُ السيّارةُ أيضًا بقوَّةِ الجاذبية. تساعدُ العلاقةُ بين هذه القوى في وصفِ حركةِ السيّارة أثناءَ جرِّها. يُظهرُ المخطَّطُ جميعَ القوى المؤثِّرةِ في السيّارةِ وكأنها طُبِّقتْ جميعُها على مركزِ ثقلِها. لرسمِ مخطَّطِ القوى المؤثِّرة في السيّارة عليك، إذن، أن تعزلَ السيّارةَ وتحدِّدَ جميعَ القوى المؤثِّرةِ فيها.

(أ)

مخطَّطاتُ القوى المؤثِّرةِ في الجسمِ تعزلُه وتحدِّدُ القوى المؤثِّرةَ فيه

تُظهرُ **الأشكالُ 3-4** من (ب) إلى (و) جميعَ الخطواتِ المطلوبةِ لرسمِ مخطَّطِ القوى المؤثِّرةِ في السيّارة. يساعدُكَ اتّباعُ هذه الخطواتِ العامّةِ في رسمِ أيِّ مخطَّطِ قوى وعزلِ أيِّ جسم، وتحديدِ القوى المؤثِّرةِ فيه في أيِّ حالة.

قبلَ أن تبدأ بتحديدِ القوى المؤثِّرةِ في حالةٍ معيَّنةٍ، ارسُمْ مخطَّطًا يوضحُ الجسمَ المعزولَ موضوعَ الدراسةِ كما في الخطوةِ (ب)، ويُستحسنُ رسمُ صورةٍ مبسَّطةٍ فيها بعضُ الخواصِّ التي تساعدُكَ في تحديدِ الجسم. في هذه الحالة، تمثِّلُ السيّارةُ بهيكلٍ بسيط، وبوضعٍ مشابهٍ لوضعِها الظاهرِ في الصورة، مما يساعدُكَ على رسمِ الأسهمِ التي تعبِّرُ عن القوى في الاتِّجاهاتِ الصحيحة. في هذا الكتاب، وفي معظمِ الحالاتِ نمثِّلُ الأجسامَ بأشكالٍ تساعدُنا في التعرُّفِ إليها، حيث نستعملُ الدوائرَ أو المربَّعاتِ أو حتى النقاط.

نشاط عملي سريع

القوَّةُ والتغيُّرُ في الحركة

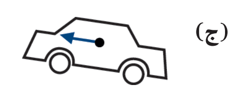
الموادّ

- ✓ سيّارةٌ–لعبة
- ✓ كتاب

استعملِ السيّارةَ–اللّعبةَ والكتابَ لتمثيلِ حادثِ اصطدامٍ بين سيّارةٍ وجدار. لاحظْ حركةَ السيّارةِ قبلَ الاصطدامِ وبعدَه. حدِّدْ عدّةَ مُتغيِّراتٍ في حركةِ السيّارة، كتغيُّرِ اتِّجاهِ السرعةِ أو مقدارِها. اكتبْ جدولاً بكلِّ هذه المُتغيِّرات، وحاولِ التعرُّفَ إلى القوى التي تسبَّبتْ فيها. ارسمْ مخطَّطًا لقوى الاصطدام.

الشكل 3-4
الخطواتُ المتَّبعةُ في رسمِ مخطَّطِ القوى المؤثِّرةِ في السيّارةِ الظاهرةِ في الشكل (أ)، موضَّحةٌ من (ب) إلى (و).

(ب)


(ج)


الخطوةُ التاليةُ هي رسمُ وترميزُ أسهمِ المتَّجَهاتِ التي تعبِّرُ عن جميعِ القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ في الجسم. يُظهرُ المخطَّطُ في (ج) القوَّةَ التي يؤثِّرُ بها حبلُ الشدِّ في السيّارة. ينطلقُ السهمُ من مركزِ السيّارةِ لأنَّ جميعَ القوى في هذا المثالِ تؤثِّرُ في نقطةٍ واحدةٍ هي مركزُ ثقلِ السيّارة. من المهمِّ أن نعيِّنَ مقدارَ القوَّةِ التي يمثِّلُها السهمُ كي نميِّزَها من باقي القوى. إنَّ مقدارَ القوَّةِ التي يؤثِّرُ بها الحبلُ في السيّارةِ هو 5 800 N، ويبيِّنُ السهمُ اتِّجاهَ قوَّةِ شدِّ الحبل.

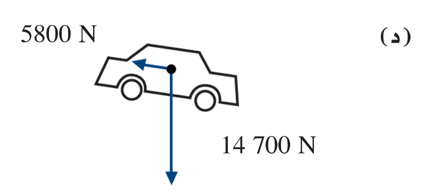
إنَّ مقدارَ قوَّةِ الجاذبيةِ التي تؤثِّرُ في السيّارةِ هو 14 700 N في اتِّجاهِ مركزِ الأرض، كما في **الشكل**(د). وتؤثِّرُ الطريقُ في السيّارةِ بقوَّةٍ إلى أعلى مقدارُها 13 690 N، كما في **الشكل** (هـ).

وبسببِ التماسِّ بين الطريقِ وإطاراتِ السيّارة، تؤثِّرُ الطريقُ أيضًا في السيارةِ بقوَّةِ احتكاكٍ خلفيةٍ تساوي 775 N، كما في **الشكل** (و).

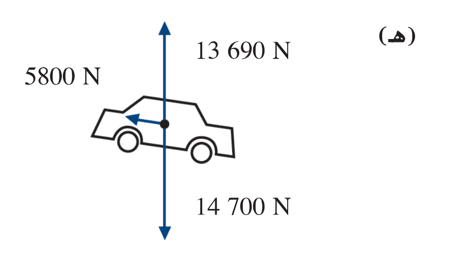
قارنِ **الشكلَ** (و) والصورةَ الفوتوغرافيةَ للسيّارة. على الرغمِ من أنَّ الصورتَيْنِ تبدوانِ مختلفتَيْنِ فإنَّ هناك تشابهًا كبيرًا بينهما. وسترى لاحقًا كيف يحملُ مخطَّطُ القوى في طيّاتِهِ معلوماتٍ فيزيائيةً أكثرَ ممّا تحملُهُ الصورةُ الفوتوغرافيةُ الحقيقية.

يُستعمَلُ مخطَّطُ القوى لمعرفةِ محصِّلةِ القوى المؤثِّرةِ في الجسم، وذلك باستعمالِ قواعدِ التحليلِ الاتِّجاهيِّ التي في الفصل 2.

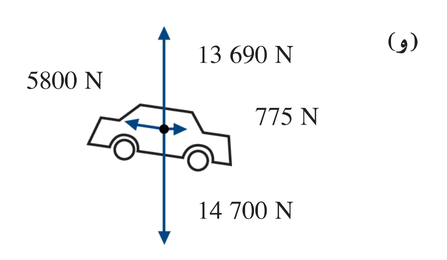
(د)



(هـ)



(و)



الشكل 3-4 (د - هـ - و)

مراجعةُ القسم 3-1

1. أعطِ ثلاثةَ أمثلةٍ على كلٍّ ممّا يلي:
   أ. قوَّةٌ تُمكِّنُ جسمًا من البدءِ بحركة.
   ب. قوَّةٌ تُوقفُ جسمًا عن الحركة.
   ج. قوَّةٌ تغيِّرُ اتِّجاهَ حركةِ جسمٍ معيَّن.

2. أعطِ مثالَيْنِ على القوى المجاليةِ المشروحةِ في هذا القسم، ومثالَيْنِ على قوى التماسِّ التي تلاحظُها في حياتِكَ اليومية. اشرحْ كيف تعرفُ أنها قوى.

3. ما وحدةُ القوَّةِ في نظام SI؟ اكتبْ هذه الوحدةَ بدلالةِ الوحداتِ الأساسيَّةِ.

4. لماذا تُعتبَرُ القوَّةُ كمِّيَّةً اتِّجاهيَّة؟

5. ارسمْ مخطَّطَ القوى المؤثِّرةِ في كُرةِ تُركلُ، مفترضًا أنَّ القوَّتَيْنِ اللتَيْنِ تؤثِّرانِ في الكُرةِ هما قوَّتا الجاذبيةِ والركل.

6. **تفسيرُ الرسومِ البيانيَّة** ادرسْ مخطَّطَ القوى الموجودِ في **الشكل 3-4** (أ). أعدْ رسمَ المخطَّطِ وعنْوِنْ كلَّ متَّجهٍ مع وصفِ القوَّةِ التي يمثِّلُها. في كلِّ حالة، حدِّدِ الجسمَ الذي يطبِّقُ القوَّة، والجسمَ الذي تُطبَّقُ القوَّةُ عليه.

القسم 2-3

القانونُ الأولُ لنيوتن
Newton's first law

2-3 أهدافُ القسم

- يشرحُ العلاقةَ بين حركةِ جسمٍ ومحصِّلةِ القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ فيه.
- يُحدِّدُ محصِّلةَ القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ في جسمٍ معيَّن.
- يحدِّدُ شروطَ اتِّزانِ جسمٍ معيَّن.

القصورُ الذاتيّ

تشكِّلُ الحوّامةُ المائيةُ التي تنزلقُ على سطحِ الماءِ فوقَ وسادةٍ هوائيةٍ، كما في **الشكل 5-3**، أحدَ الأمثلةِ التي يدرسُها العلماءُ لمعرفةِ تأثيرِ القوى في حركةِ الأجسام.

في البدايةِ يجبُ دراسةُ حركةِ الجسمِ قبل تأثيرِ القوى فيه. وأحدُ الأخطاءِ الشائعةِ الاعتقادُ بأنَّ الجسمَ، إذا لم يتأثَّرْ بقوَّةٍ ما، يبقى ساكنًا. وللتحقُّقِ من صحَّةِ هذه المقولةِ ندرسُ انزلاقَ قالَبٍ على سطوحٍ مختلفة.



الشكل 5-3
حوَّامةٌ مائيةٌ تعومُ على وسادةٍ هوائيةٍ فوقَ سطحِ الماء.

إذا دفعْتَ قالبًا على سجّادةٍ سميكةٍ أوّلاً فإنهُ ينزلقُ، لكنه سرعانَ ما يتوقَّف. إلاّ أنَّ القالبَ نفسَهُ ينزلقُ مسافةً أطولَ قبل أن يتوقَّفَ إذا دفعْناهُ بالقوَّةِ نفسِها على سطحٍ أملس. استنتجَ العالمُ غاليليو في العامِ 1630 أنَّ القالبَ نفسَهُ ينزلقُ إلى ما لا نهاية على سطحٍ ناعمٍ تمامًا في غيابِ أيةِ قوَّةٍ خارجية. وتبيَّنَ له أنَّ من طبيعةِ الأجسامِ أن تستمرَّ في أيِّ حركةٍ تكتسبُها، وليسَ من طبيعتِها إطلاقًا أنْ تحاولَ إيقافَ تلك الحركة. قامَ نيوتن في العامِ 1687 بتطويرِ هذا المبدأ الذي أصبحَ يعرفُ لاحقًا بقانونِ الحركةِ الأوَّلِ لنيوتن.

> **القانونُ الأوَّلُ لنيوتن**
>
> **يبقى الجسمُ الساكنُ ساكنًا والجسمُ المتحرِّكُ متحرِّكًا بالسرعةِ نفسِها (مقدارًا واتِّجاهًا) ما لم يتعرَّضْ لتأثيرِ قوَّةٍ خارجيةٍ تجبرُهُ على تغييرِ الحالِ التي يكونُ عليها.**

ويُسمّى مَيْلُ الجسمِ إلى عدمِ تغييرِ حالتِهِ الحركيةِ **بالقصورِ الذاتيِّ** inertia. وغالبًا ما يُسمّى «القانونُ الأولُ لنيوتن» قانونَ القصورِ الذاتيِّ، لأنه يفيدُ أنَّ الجسمَ يحافظُ على سرعتِهِ أو حالةِ سكونِهِ في غيابِ القوى المؤثِّرةِ فيه. ويمكنُ صياغةُ القانونِ الأولِ لنيوتن بالطريقةِ التالية: **عندما تكونُ محصِّلةُ القوى التي تؤثِّرُ في جسمٍ ما صفرًا، فإنَّ تعجيلَهُ (التغير في سرعة الجسم) يكونُ صفرًا.**

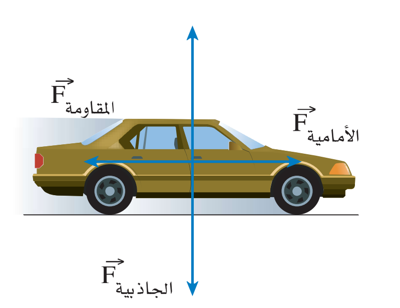
القصورُ الذاتيّ
مَيْلُ الجسمِ إلى الحفاظِ على حالتِهِ الحركية.

جمعُ القوى المؤثِّرةِ في جسمٍ هي محصِّلةُ القُوى

افترضْ سيّارةً تسيرُ بسرعةٍ ثابتة. ينصُّ القانونُ الأولُ لنيوتن أن محصَّلةَ القوى المؤثِّرة في السيّارةِ يجبُ أن تكون صفرًا. إلاّ أنَّ **الشكل 6-3** يوضحُ أن قوًى كثيرةً تؤثِّرُ في السيّارةِ أثناءَ سيرِها. القوَّةُ $\vec{F}_{\text{الأمامية}}$ تمثِّلُ القوَّةَ التي تدفعُ بها الطريقُ عجلاتِ السيّارةِ إلى الأمام. وقوَّةُ المقاومةِ $\vec{F}_{\text{المقاومة}}$ التي تؤثِّرُ في الاتِّجاهِ المعاكس، هي في جزءٍ منها نتيجةٌ لاحتكاكِ عجلاتِ السيّارةِ مع الطريق، وفي جزءٍ آخرَ نتيجةٌ لمقاومةِ الهواء. والمتَّجهُ $\vec{F}_{\text{الجاذبية}}$ يمثِّلُ قوَّةَ الجاذبيَّةِ التي تشدُّ السيّارةِ إلى أسفل. أما القوَّةُ $\vec{F}_{\text{الأرض على السيارة}}$ لتمثِّلَ القوَّةَ التي تؤثِّرُ بها الطريقُ في السيّارةِ إلى أعلى.

لكي نفهمَ كيف يمكنُ للسيّارةِ أن تسيرَ بسرعةٍ ثابتةٍ تحتَ تأثيرِ هذا العددِ من القوى يلزمُنا التمييزُ بين القوى الخارجيةِ ومحصِّلةِ القوى الخارجية. القوى الخارجيةُ هي القوى التي تؤثِّرُ في الجسمِ نتيجةً لتفاعلِه مع أحدِ الأجسامِ في محيطِه. القوى الأربعُ الظاهرةُ في **الشكل 6-3** هي قوًى خارجيةٌ تؤثِّرُ في السيّارة، و**محصِّلةُ القوى** net force هي الجمعُ الاتِّجاهيُّ لكلِّ القوى المؤثِّرةِ في الجسم، وهي تكافئُ القوَّةَ الوحيدةَ التي تجتمعُ فيها تأثيراتُ القوى الخارجيةِ مجتمعة.

إذا كانت كلُّ القوى الخارجيَّة المؤثِّرة في جسمٍ ما معروفة، يمكنُ معرفة محصّلة هذه القوى باستعمالِ طريق المتَّجهات. محصَّلةُ القوى تكافئُ القوَّةَ الواحدةَ التي تُنتِجُ في الجسمِ التأثيرَ نفسه الذي تنتجُه كلُّ القوى الخارجيةِ مجتمعة. وعلى الرغمِ من وجودِ أربعِ قوًى خارجيَّة مؤثِّرةٍ في السيّارة، كما في **الشكل 6-3**، تحافظُ السيّارةُ على سرعةٍ ثابتةٍ ما دامَ الجمعُ الاتِّجاهيُّ لهذه القوى صفرًا.



الشكل 6-3

توجدُ عدَّةُ قوًى مؤثِّرةٍ في السيّارة، وبالرغم من ذلك فإنَّ مجموعَها الاتجاهيَّ صفر. لذلك تسيرُ السيّارةُ بسرعةٍ ثابتةٍ أو تبقى في حالةِ سكون.

الكتلةُ مقياسٌ للقصورِ الذاتيّ

تخيَّلْ كرةَ سلَّةٍ وكرةَ مضربٍ جنبًا إلى جنبٍ على الأرض وفي حالةِ سكون. ينصُّ القانونُ الأولُ لنيوتُن على أن الكُرتَيْن تبقيانِ في حالةِ سكونٍ، ما دامَتْ محصِّلةُ القوى المؤثِّرةِ في كلٍّ منهما صفرًا. أما إذا ضُرِبَتْ كلٌّ منهما بالمضربِ نفسِه وبالقوَّةِ نفسِها، فإن كرةَ المضربِ تتسارعُ أكثرَ من كرةِ السلَّة، لأن القصورَ الذاتيَّ لكرةِ المضربِ أقلُّ ممّا هو لكرةِ السلَّة.

نستنتجُ من هذا المثلِ أن القصورَ الذاتيَّ لجسمٍ معيَّنٍ يتناسبُ طرديًّا مع كتلتِه. كلَّما كانت كتلةُ الجسمِ أكبرَ كان تعجيلُهُ أقلَّ، نتيجةَ تأثيرِ القوَّةِ نفسها فيه. كذلك كلَّما كانت الأجسامُ أخفَّ كان تعجيلُها أكبرَ لدى تأثُّرِها بالقوَّةِ نفسِها. لذلك تكونُ الكتلةُ مقياسًا لكمّيَّةِ المادَّةِ المكوِّنةِ في الجسم، أو مقياسًا للقصورِ الذاتيِّ لذلك الجسم.

محصِّلةُ القوى

هي القوَّةُ المنفردة التي يعادل تأثيرها تأثير جميع القوى الخارجية المؤثرة في جسم صلد.

نشاط عملي سريع
القصورُ الذاتيّ

الموادّ

- ✓ شاحنةٌ–لعبة أو عربة
- ✓ مجموعةٌ من الكراتِ الصغيرةِ ذاتِ الكتلِ المختلفة

إرشاداتُ السلامة

قمْ بهذه التجربة بعيدًا عن الجدرانِ أو الأثاثِ الذي قد يتعرَّضُ للتلف.

ضعْ كرةً صغيرةً في صندوقِ الشاحنة. ادفعِ الشاحنةَ على الأرضِ في اتِّجاه جدارٍ أو أيِّ حاجزٍ آخر. لاحظْ ما يحدثُ للكرةِ عندمَا ترتطمُ الشاحنةُ بالجدار. قمْ بعدَّةِ محاولاتٍ، وضعِ الكرةَ في أماكنَ مختلفةٍ من الشاحنة، مرَّةً في وسطِها ومرَّةً عند مقدَّمِها. أعدِ المحاولاتِ باستعمالِ كراتٍ لها كتلٌ مختلفةٌ وقارنِ النتائج. أجرِ التجربةَ بسرعاتٍ مختلفة، وقارنْ بين النتائج.

مثال 3 (أ)

تحديدُ القُوة المحصِّلة

$F_{\text{الطاولة على الكتاب}} = 18\ \text{N}$

$F_{\text{الاحتكاك}} = 11\ \text{N}$

$F_{\text{الجاذبية على الكتاب}} = 22\ \text{N}$

المسألة

يتركُ كارزان كتابَهُ على طاولةٍ تميلُ بزاويةِ 35^o مع الأفقي. يُظهرُ مخططُ قُوى الجسمِ الحرِّ إلى اليسار القوى المؤثِّرةَ في الكتاب. جِدْ محصِّلةُ القوى التي تؤثِّرُ في الكتاب؟

الحــلّ

1. أعرِّف

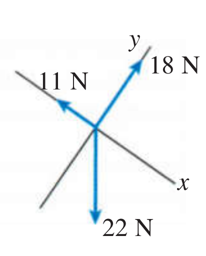
أعرِّفُ المسألةَ وأحدِّدُ المتغيِّرات.

المعطى: $F_{\text{الجاذبية على الكتاب}} = 22\ \text{N}$

$F_{\text{الاحتكاك}} = 11\ \text{N}$

$F_{\text{الطاولة على الكتاب}} = 18\ \text{N}$

المجهول: $F_{\text{المحصّلة}} = ?$



الشكل (أ)

2. أخطِّط

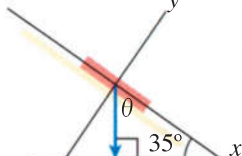
أختارُ نظامَ إحداثياتٍ مناسبًا لمخطَّطِ القوى.

أختارُ المحورَ x موازيًا لمنحدرِ الطاولة، والمحورَ y عموديًّا عليها، كما في **الشكل** (أ). بهذا الاختيارِ المناسبِ يكونُ وزنُ الكتابِ هو القوةَ الوحيدةَ التي تحتاجُ إلى إسقاطٍ على المحورَيْنِ x و y، إذ تقعُ باقي القوى على أحدِ المحورَيْنِ المذكورَيْن.



3. أحسب

أحسبُ المركَّبتَيْنِ x و y لكلِّ المتَّجهات.



الشكل (ب)

أرسمُ مخططًا كما في **الشكل** (ب) لحسابِ المركَّبتَيْنِ x و y لمتَّجه $\vec{F}_{\text{الجاذبية على الكتاب}}$. بما أن متجه الوزنَ عموديٌّ على سطحِ الأرض والمنحدرَ يميلُ بزاويةِ 35^o مع سطحِ الأرض، فإن الزاويةَ بين متَّجهِ الوزنِ والمحورِ x هي الزاويةُ الثالثةُ في المثلثِ القائمِ الزاوية، وهي تساوي 55^o.

$$\cos\,\theta = \frac{F_{\text{الجاذبية},x}}{F_{\text{الجاذبية}}} = \frac{F_{g,x}}{F_g}$$

$$F_{g,x} = F_g \cos\,\theta = (22\ \text{N})(\cos 55^o) = 13\ \text{N}$$

$$\sin\,\theta = \frac{F_{\text{الجاذبية},y}}{F_{\text{الجاذبية}}} = \frac{F_{g,y}}{F_g}$$

$$F_{g,y} = F_g \sin\,\theta = (22\ \text{N})(\sin 55^o) = 18\ \text{N}$$

أُضيفُ هاتَيْنِ المركَّبتَيْنِ لمخطَّطِ القوى كما في **الشكل** (ج).

y
18 N
11 N
13 N
x
22 N
18 N

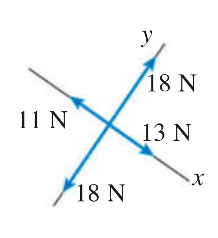
الشكل (ج)

أحسبُ محصِّلةَ القوى في كلٍّ من الاتجاهَيْنِ x و y.

يظهرُ في **الشكل** (د) مخطَّطُ قُوًى آخرُ للكتاب، حيثُ القوى الآنَ تؤثرُ في الاتجاهَيْنِ x و y فقط.

في الاتّجاه x: $\Sigma F_x = F_{g,x} - F_{\text{الاحتكاك}}$

$$\Sigma F_x = 13\ \text{N} - 11\ \text{N} = 2.0\ \text{N}$$



الشكل (د)

وفي الاتجاه y: $\Sigma F_y = F_{\text{الطاولة على الكتاب}} - F_{g,y}$

$$\Sigma F_y = 18\ \text{N} - 18\ \text{N} = 0.0\ \text{N}$$

4. أقيِّم

أجدُ محصِّلةَ القوى الخارجية.

إن مقدارَ محصِّلةِ القوى في الاتجاهِ y يساوي صفرًا، لذلك تكونُ محصِّلةُ القوى الخارجية في الاتّجاه x الموجبِ فقط، ومقدارُها $F_{\text{المحصلة}} = 2\ \text{N}$، كما في **الشكل (هـ)**. لذلك يتسارعُ الكتابُ في اتّجاهِ أسفلِ المنحدر.

$F_{\text{المحصلة}} = 2\ \text{N}$

الشكل (هـ)

تطبيق 3 (أ)

تحديدُ القوّة المحصِّلة

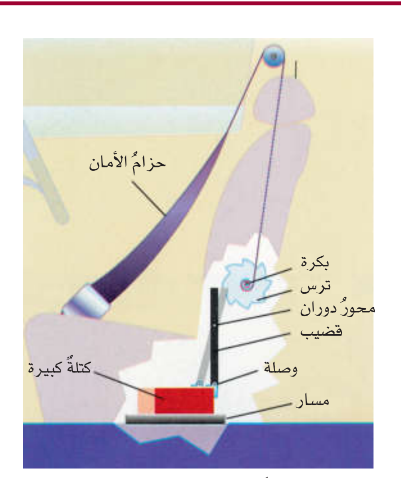
1. يجرُّ رجلٌ صندوقًا بقوةٍ مقدارُها 70.0 N تميلُ بزاويةِ 30.0° مع الأفقيّ. جدِ المركَّبتَيْنِ x و y للقوَّة.
2. يؤدّي هبوبُ رياحٍ إلى سقوطِ تفّاحةٍ عن شجرة. تتعرَّضُ التفاحةُ أثناءَ سقوطِها لقوَّةٍ جاذبيةٍ مقدارُها 2.25 N إلى أسفل، بينَما تدفعُها الرياحُ إلى اليمينِ بقوةٍ 1.05 N. جدْ مقدارَ واتّجاهَ محصِّلةِ القوى التي تؤثِّرُ في التفّاحة.
3. تدفعُ الرياحُ مركبًا شراعيًّا بقوَّةٍ 452 N نحوَ الشمال، بينما يشدُّهُ التيّارُ المائيُّ بقوَّة 325 N إلى الشرق. جدْ مقدارَ واتّجاهَ محصِّلةِ القوى التي تؤثِّرُ في المركب.

الفيزياءُ والحياة

أحزمةُ الأمان:

الهدفُ من حزامِ الأمانِ هو منعُ الإصاباتِ الخطرةِ بتثبيتِ الراكبِ في مكانهِ إذا حدث تصادم، أو توقُّفٍ مفاجئ، أو انعطافٍ بسرعةٍ عندَ تقاطع. لدى التوقُّفِ المفاجئ، يسبِّبُ القصورُ الذاتيُّ اندفاعَ الراكبِ إلى الأمامِ، لكنه في الآنِ ذاتِه يساعدُ على إقفالِ حزامِ الأمانِ، ممّا يثبّتُ الراكبَ في مكانهِ.

يوضِّحُ الشكلُ إلى اليسار كيف يعملُ أحدُ أنواعِ أحزمةِ الأمان. في الظروفِ العاديةِ تدورُ أسنانُ الترسِ بحرِّيةٍ لتمكينِ الحزامِ من الدورانِ في الاتجاهَيْنِ حولَ البكرة. لكن في حالةِ التصادمِ فإنَّ السيّارةَ تتوقَّفُ بسرعة، بينما تتابعُ الكتلةُ الكبيرةُ الموضوعةُ تحتَ المقعدِ انزلاقَها في مسارِها إلى الأمامِ نتيجةً لقصورِها الذاتيّ. وتساعدُ الوصلةُ بين الكتلةِ والقضيبِ على دورانِ القضيبِ حولَ محورِه، فيثبِّتُ أسنانَ الترسِ في مكانِها. عندَها يتوقَّفُ الحزامُ عن الحركةِ، ويثبِّتُ الراكبَ في مقعدِه.



عندما تتوقَّفُ السيارةُ بشكلٍ مفاجئ، تتابعُ الكتلةُ الكبيرةُ تحتَ المقعدِ حركتَها بفعلِ القصورِ الذاتيِّ، مما يُقْفِلُ حزامَ الأمان.

الاتّزان

الاتّزان
الحالةُ التي لا تتغيرُ فيها حركةُ الجسم.

تُسمّى حالةُ الأجسامِ المستقرَّةِ في مكانِها، أو التي تسيرُ بسرعةٍ ثابتة، حالةَ **اتّزان** equilibrium. أما الشرطُ الذي يجبُ تحقيقُهُ للاتِّزانِ فينصُّ عليهِ القانونُ الأوّلُ لنيوتن بما يأتي: يجبُ أن تكونَ محصِّلةُ القوى التي توثِّرُ في جسمٍ متَّزنٍ صفرًا. يكونُ الجسمُ في حالةِ اتّزانٍ عندما يكونُ الجمعُ الاتّجاهيُّ للقوى المؤثِّرةِ فيه صفرًا. وأسهلُ الطرائقِ لمعرفةِ اتّزانِ جسمٍ أو عدمِ اتّزانهِ هي أخذُ نظامِ إحداثيّاتٍ وتحليلُ القوى على المحورَيْنِ x و y. عندما يكونُ جمعُ القوى على كلٍّ من المحورَيْنِ x و y صفرًا أي ($\Sigma F_x = 0$ و $\Sigma F_y = 0$)، يكونُ الجمعُ الاتّجاهيُّ لكلِّ القوى المؤثِّرةِ في الجسمِ صفرًا، ويكونُ الجسمُ في حالةِ اتّزان.

مراجعةُ القسم 2-3

1. إذا سارتْ سيارةٌ في اتّجاهِ الغربِ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 20 m/s، ما محصِّلةُ القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ فيها؟

2. تتحرَّكُ سيّارةٌ نزولاً على منحدرٍ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ مقدارُها 3 674 N. ما القوَّةُ التي يجبُ أن تطبِّقَها المكابحُ لتمكينِ السيّارةِ من السيرِ بسرعةٍ ثابتة؟

3. يسجِّلُ الفاحصُ المثبَّتُ في جسمِ دميةِ الاختبارِ محصِّلةَ القوى الخارجيةِ التي تؤثِّرُ في الدميةِ خلالَ عمليةِ تصادم. إذا قُذفتِ الدميةُ إلى الأمامِ بقوَّةٍ مقدارُها 130.0 N وصُدِمتْ، في الوقتِ نفسِهِ، بقوَّةٍ جانبيةٍ مقدارُها 4 500.0 N، فما القوَّةُ التي يسجِّلُها الفاحص؟

4. ما القوَّةُ التي يجبُ أن يطبِّقَها حزامُ الأمـانِ على الدميةِ في السؤالِ 3 لكي يثبِّتَها في المقعد؟

5. **تفكيرٌ ناقد** هل يمكنُ لجسمٍ معيَّنٍ أن يكونَ في حالةِ اتّزانٍ إذا تعرَّضَ لتأثيرِ قوَّةٍ واحدة؟

القانونانِ الثاني والثالثُ لنيوتن

القسم 3-3

Newton's Second and Third Laws

3-3 أهدافُ القسم

- يصفُ تعجيل جسم بدلالة كتلتِه ومحصِّلة القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ فيه.
- يتوقّعُ اتجاهَ ومقدارَ تعجيل ناتج عن محصِّلة قوّةٍ خارجيةٍ معروفة.
- يحدِّدُ قوّتَي الفعل وردِّ الفعل.

القانونُ الثاني لنيوتن

علاقةُ التعجيلِ بالقوّةِ والكتلة

إذا دُفِعَتْ سيّارةٌ متوقِّفةٌ على طريقٍ مستوٍ بعد تحريرِ مكابحِها، كما في **الشكل 3-7**، تؤدّي القوّةُ المحصِّلةُ إلى ازديادٍ في سرعةِ السيّارة، وبالتالي إلى تعجيل. إذا دفعْتَ أنتَ السيّارةَ بمفردِكَ فإن التعجيلَ الناتجَ يكونُ قليلاً جدًّا، بحيثُ تحتاجُ إلى وقتٍ طويلٍ لملاحظةِ أي ازديادٍ في سرعةِ السيّارة. لكن إذا ساعدَكَ عدَّةُ زملاءَ في دفعِ السيّارةِ فإن محصِّلةَ القوى على السيّارةِ ستكونُ أكبرَ كثيرًا، حيث تزدادُ سرعةُ السيّارةِ بشكلٍ سريع، ما يفرضُ عليك الركضَ للحاقِ بها. يحدثُ ذلك لأن تعجيلَ الجسمِ يتناسبُ طردًا مع محصِّلةِ القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ فيه.

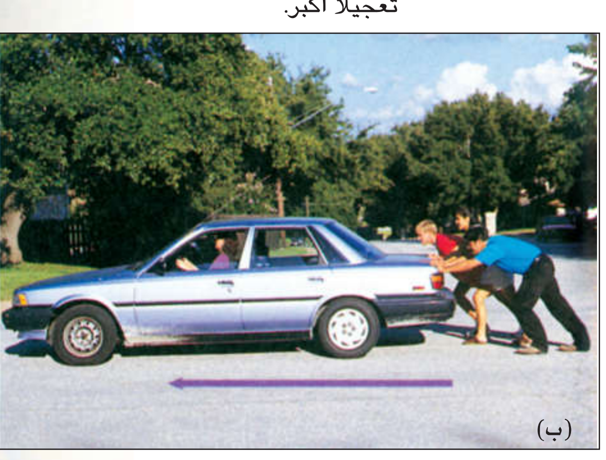
إذا دُفِعَتْ كرتا سلَّةٍ ومضربٍ بالقوّةِ نفسِها، تتسارعُ كرةُ المضربِ بدرجةٍ أكبرَ من كرةِ السلَّة. وكذلك تتسارعُ سيّارةٌ صغيرةٌ بدرجةٍ أكبرَ من سيّارةِ نقلٍ كبيرة، إذا تعرَّضتا للقوّةِ نفسِها. يتطلَّبُ جسمٌ ذو كتلةٍ صغيرةٍ قوّةً أقلَّ مما يتطلَّبُهُ جسمٌ ذو كتلةٍ كبيرة، كي يتحرَّكا بالتعجيلِ نفسِه، لأن للجسمِ ذي الكتلةِ الصغيرةِ قصورًا ذاتيًّا أقلَّ وميلاً إلى البقاءِ على حالتِهِ الحركيةِ أقلَّ من الجسمِ ذي الكتلةِ الكبيرة. نستنتجُ من ذلك أنّ للكتلةِ أيضًا تأثيرًا في التعجيل.

إن العلاقةَ بين القوّةِ والكتلةِ والتعجيلِ محدَّدةٌ بالقانونِ الثاني لنيوتن كما يلي.

> **القانونُ الثاني لنيوتن**
>
> **إن تعجيلَ جسمٍ معيَّنٍ يتناسبُ طردًا مع محصِّلةِ القوى المؤثِّرةِ فيه ويتناسبُ عكسًا مع كتلتِه.**

تبعًا لهذا القانون، إذا طُبِّقَتْ قوتانِ متساويتانِ على جسمَيْنِ لهما كتلتانِ مختلفتانِ فالجسمُ ذو الكتلةِ الأكبرِ يسيرُ بتعجيلٍ أقلَّ من الجسمِ ذي الكتلةِ الأصغر. ويمكنُ وضعُ





الشكل 3-7

(أ) القوّةُ الصغيرةُ على جسمٍ تؤدّي إلى تعجيلٍ قليل. (ب) القوّةُ الأكبرُ تسببُ تعجيلاً أكبر.

القانونِ الثاني لنيوتن في صيغةِ معادلةٍ كما يلي:

$$\Sigma\vec{F} = m\vec{a}$$

محصِّلةُ القوَّةِ الخارجية = الكتلة × التعجيل

حيث يمثِّلُ $\vec{a}$ تعجيلَ الجسمِ في اتِّجاهِ محصِّلةِ القُوى الخارجية، وتمثِّلُ m كتلتَه، و $\Sigma\vec{F}$ المحصِّلةَ الاتّجاهية للقوى الخارجيةِ التي تؤثِّرُ فيه. هذه العلاقةُ تمكِّنُنا، لدى معرفتِنا كتلةَ الجسم، من تحديدِ تأثيرِ قوَّةٍ معيَّنةٍ في حركتِه.

مثال 3 (ب)

القانونُ الثاني لنيوتن

المسألة

يدفعُ كاوان كتابًا موضوعًا على طاولة كتلتُه 2.2 kg، في اتّجاهِ دانا الذي يجلسُ في الجهةِ المقابلة من الطاولة. ما تعجيلُ الكتابِ إذا كانت محصِّلةُ القوَّةِ المؤثِّرةِ فيه 2.6 N في اتّجاهِ اليمين؟

الحلّ

المعطى: $m = 2.2$ kg　　$\vec{F}_{\text{المحصلة}} = \Sigma\vec{F} = 2.6$ N في اتِّجاهِ اليمين

المجهول: $\vec{a} = ?$

أستعملُ القانونَ الثانيَ لنيوتن وأحسبُ a.

$$\vec{a} = \frac{\Sigma\vec{F}}{m} = \frac{2.6\text{ N}}{2.2\text{ kg}} = \boxed{1.2\text{ m/s}^2 \text{ في اتّجاه اليمين}}$$

تطبيق 3 (ب)

القانونُ الثاني لنيوتن

1. إذا كانت محصِّلةُ قوَّةِ الدفعِ الخارجيةِ على نموذجِ طائرةٍ كتلتُهُ 3.2 kg هي 7.0 N إلى الأمام، فما تعجيلُ الطائرة؟
2. تتعرَّضُ عربةٌ كتلتُها 270 kg إلى محصِّلةِ قوًى مقدارُها 390 N في اتِّجاهِ الشمال. ما مقدارُ تعجيلها واتّجاهُه؟
3. تؤثِّرُ قوَّةٌ مقدارُها 6.75×10^3 N في اتجاهِ الشرقِ في سيّارةٍ كتلتُها 1.50×10^3 kg. ما تعجيلُها؟
4. ينزلقُ أرنبٌ كتلتُه 2.0 kg من أعلى منحدرٍ موحلٍ طولُه 85 cm خلال 0.50 s. ما محصِّلةُ القوى المؤثِّرةِ في الأرنبِ في اتّجاهِ المنحدر؟
5. ركلتَ كرةَ قدمٍ بقوَّةٍ مقدارُها 13.5 N، فتسارعَتْ في اتّجاهِ اليمينِ بمقدارِ 6.5 m/s². ما كتلةُ الكرة؟

من الأسهل، عند حلِّ المسائل، أن تُجَزَّأَ معادلةُ القانونِ الثاني لنيوتن إلى مركَّبتَيْن x و y. يكونُ جمعُ القوى التي تؤثِّرُ في أيٍّ من الاتجاهَيْن مساويًا للكتلةِ ضربَ التعجيل في الاتّجاهِ نفسِه، أي: $\Sigma F_x = ma_x$، $\Sigma F_y = ma_y$.

إذا كانت محصِّلةُ القوَّةِ الخارجيةِ صفرًا فإن التعجيلَ يكونُ صفرًا أيضًا $\vec{a} = 0$، مما يعني أن الجسمَ هو في حالةِ اتّزانٍ السرعة $\vec{v}$ فيها إما ثابتةٌ وإما صفر.

القانونُ الثالثُ لنيوتن

يتعرَّضُ جسمٌ معيَّنٌ لقوَّةٍ نتيجةً لتفاعلٍ بينَه وبين محيطِه. مثلاً، خلال اصطدام سيّارةٍ بجدارٍ إسمنتيٍّ تؤثِّرُ السيارةُ فيه بقوَّةٍ محدودةٍ كالقوَّةِ التي تُطبَّقُ على البابِ عند فتحِه أو على كرةٍ عند ركلِها. يطبِّقُ الجدارُ أيضًا قوَّةً على السيّارةِ فتنخفضُ سرعتُها فجأةً عند اصطدامِها به.

القوى دائمًا مزدوجة

لاحظَ نيوتُن من أمثلةٍ كهذه أنه لا توجدُ قوَّةٌ معزولةٌ منفردةٌ، بل تُوجدُ دائمًا بشكلٍ مزدوج. فالسيارةُ تطبِّقُ قوَّةً على الجدارِ، وفي الوقتِ نفسِه يطبِّقُ الجدارُ قوَّةً على السيّارة. وقد وصفَ نيوتن حالاتٍ كهذه من خلالِ قانونِه الثالث:

إذا تفاعلَ جسمانِ، فإن القوَّةَ التي يطبِّقُها الجسمُ الأوّلُ على الجسمِ الثاني تساوي في المقدارِ القوَّةَ التي يطبِّقُها الجسمُ الثاني على الجسمِ الأوّلِ، وتكونُ هاتانِ القوَّتانِ متعاكستَيْنِ في الاتّجاه.

ويمكنُ صياغةُ القانونِ بالطريقةِ التالية: **لكلِّ فعلٍ ردُّ فعلٍ يساويهِ في المقدارِ ويعاكسُهُ في الاتجاه.**

عندما يتفاعلُ جسمانِ فيما بينهما تُسمَّى القوَّتانِ اللتانِ يطبِّقُها أحدُهما على الآخرِ **فعلاً وردَّ الفعل** action and reaction. تُسمَّى القوةُ التي يطبِّقُها أحدُ الجسمَيْنِ على الآخرِ قوَّةَ الفعل، بينما تُسمَّى القوَّةُ التي يطبِّقُها الجسمُ الثاني على الجسمِ الأوّلِ قوَّةَ ردِّ الفعل. تساوي قوَّةُ الفعل قوَّةَ ردِّ الفعل في المقدارِ وتعاكسُها في الاتّجاه. قد يختلفُ المعنى الفيزيائيُّ للفعلِ وردِّ الفعل عن المعنى الشائعِ في استعمالِهما العادي. إذ إن كلمةَ ردِّ فعلٍ في استعمالِها العاديِّ تعني حدوثَ الشيءِ «بعدَ» و«نتيجةً» لوقوعِ حادثةٍ معيَّنة. بينما يتزامنُ ردُّ الفعلِ في الفيزياءِ مع الفعلِ أي يحدثان معًا في اللحظةِ نفسِها.

ولأن القوَّتَيْنِ تتزامنان، فإن أيًّا منهما يمكنُ أن تُسمَّى فعلاً أو ردَّ فعل. فمثلاً، القوَّةُ التي تطبِّقُها السيّارةُ على الجدارِ تُسمَّى قوَّةَ الفعل، فتكونُ القوَّةُ التي يطبِّقُها الجدارُ على السيّارةِ قوَّةَ ردِّ الفعل. وبالعكس، يمكنُ تسميةُ القوَّةِ التي يطبِّقُها الجدارُ على السيّارةِ قوَّةَ الفعلِ والقوَّةِ التي تطبِّقُها السيّارةُ على الجدارِ قوَّةَ ردِّ الفعل.

قوَّتا الفعلِ وردِّ الفعلِ تؤثِّرانِ في جسمَيْنِ مختلفَيْن

يجبُ أن نتذكَّرَ دائمًا أن الفعلَ وردَّ الفعلِ يؤثِّرانِ في جسمَيْنِ مختلفَيْن. ندرسُ عمليةَ إدخالِ مسمارٍ في قالبٍ خشبيّ، كما في **الشكل 3-8**. تطبِّقُ المطرقةُ قوَّةً على المسمارِ فتُكسبُهُ تعجيلاً يمكنُهُ من الدخولِ في القالب. ووفقَ القانونِ الثالثِ لنيوتن يطبِّقُ المسمارُ على المطرقةِ قوَّةً مساويةً ومعاكسةً للقوَّةِ التي تطبِّقُها المطرقةُ على المسمار.

يُعتَبرُ مبدأُ الفعلِ وردِّ الفعلِ مصدرًا للإرباك، لأن البعضَ يعتقدُ خطأً أن القوَّتَيْنِ المتساويتَيْنِ في المقدارِ والمتعاكستَيْنِ في الاتّجاهِ توازنانِ بعضُهما بعضًا ولا تؤدّيانِ بالتالي إلى أيِّ تغيُّرٍ في الحركة. إذا طبَّقَ المسمارُ قوَّةً مساويةً في المقدارِ ومعاكسةً للقوَّةِ التي تؤثِّرُ بها المطرقةُ عليه، فلماذا لا يبقى ساكنًا؟

القوَّتانِ تؤثِّرانِ في جسمَيْنِ مختلفَيْن، لذلك لا يمكنُ أن ينشأَ عن الفعلِ وردِّ

الفيزياءُ والحياة

1. الجاذبيةُ والصخور: قوَّةُ الجاذبيةِ التي تؤثِّرُ في حجرٍ كتلتُهُ 2 kg هي ضعفا قوَّةِ الجاذبيةِ المؤثِّرةِ في حجرٍ كتلتُهُ 1 kg. لماذا لا يكونُ للحجرِ الأوّلِ مثلا تعجيلُ السقوطِ الحرّ؟

2. الشاحنةُ المثقوبة: تتحرَّكُ شاحنةٌ محمَّلةٌ بالرملِ بتعجيلِ $0.5\ m/s^2$ على طريقٍ سريع. ماذا يحدثُ لتعجيلِ الشاحنةِ إذا كانَ الرملُ يتسرَّبُ من ثقبٍ فيها بمعدَّلٍ ثابت؟

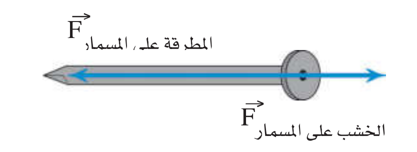
قوَّتا الفعلِ وردِّ الفعل

قوَّتانِ متزامنتانِ متساويتانِ في المقدارِ ومتعاكستانِ في الاتّجاهِ ناتجتانِ من تفاعلٍ بين جسمين.



الشكل 3-8

يطبِّقُ المسمارُ قوَّةً على المطرقةِ تساوي في المقدارِ وتعاكسُ في الاتّجاهِ القوَّةَ التي تؤثِّرُ فيها المطرقةُ على المسمار.



الشكل 9-3

محصلةُ القوى المؤثرة في المسمارِ تدفعُهُ إلى اليسارِ داخلَ الخشب.

الفعل أيَّ اتزان. فحركةُ المسمارِ تتأثَّرُ فقط بالقوَّةِ التي تطبِّقُها المطرقةُ على المسمار، وينحصرُ تأثيرُ القوَّةِ التي يطبِّقُها المسمارُ على المطرقةِ في المطرقةِ وحدَها ولا يكونُ لها تأثيرٌ في المسمارِ إطلاقًا.

ولمعرفةِ إمكانيةِ اكتسابِ المسمارِ لتعجيلٍ نلاحظُ مخطَّطَ القوى المؤثِّرةِ في المسمار، كما في **الشكل 9-3**، حيث لا يظهرُ وجودٌ لقوَّةِ المسمارِ في القالبِ الخشبي، لأنها لا تؤثِّرُ في حركتِه. وحسب المخطَّط، سيدخل المسمارُ في القالبِ الخشبيِّ تحت تأثيرِ محصِّلةِ القوَّةِ الخارجيةِ التي تؤثِّرُ فيه.

القوى المجاليةُ هي أيضاً قوًى مزدوجة

ينطبقُ القانونُ الثالثُ لنيوتن على القوى المجاليةِ كما في حالةِ التجاذبِ بين الكرةِ الأرضيةِ وأيِّ جسمٍ، كما ينطبقُ على حالةِ قوى التلامس. يعمَدُ المهندسونَ أثناءَ دراسةِ التصادماتِ إلى وضعِ مجَسّاتٍ في رؤوسِ دمى الاختبارِ قبل رميِها من ارتفاعٍ معيَّن.

فالأرضُ تؤثِّرُ في رأسِ الدميةِ بقوَّةٍ $\vec{F}_g$، لِنُسمِّها قوَّةَ الفعل. فما قوَّةُ ردِّ الفعل؟ إنها القوَّةُ التي يؤثِّرُ بها رأسُ الدميةِ الساقطةِ في الأرض.

وبحسبِ القانونِ الثالثِ لنيوتن يساوي مقدارُ قوَّةِ تأثيرِ الأرضِ في الدميةِ مقدارَ قوَّةِ تأثيرِ الدميةِ في الأرض. وبما أن الدميةَ تتسارعُ في اتِّجاهِ الأرضِ فالأرضُ تتسارعُ في اتجاهِ الدمية.

وفكرةُ أن الأرضَ تتسارعُ في اتّجاهِ رأسِ الدميةِ قد تبدو، للوهلةِ الأولى، متناقضةً مع حسِّنا التجريبي. غيرَ أننا لفهمِ ذلك نعمدُ إلى القانونِ الثاني لنيوتن. إن كتلةَ الأرضِ أكبرُ كثيرًا من كتلةِ الدمية، لذلك نرى الدميةَ تتسارعُ بشكلٍ ملحوظٍ نتيجةً لتأثيرِ قوَّةِ الأرضِ فيها، بينما يبدو تعجيلُ الأرضِ نتيجةً لقوَّةِ الفعلِ معدومًا، بالنظرِ إلى كتلةِ الأرضِ الهائلة.

مراجعةُ القسم 3-3

1. يتسارعُ جسمٌ كتلتُهُ 6.0 kg بتعجيلٍ مقدارُه $2.0\ m/s^2$.
أ. ما مقدارُ محصِّلةِ القوى التي تؤثِّرُ فيه؟
ب. ما التعجيلُ الذي تسبِّبُه القوَّةُ نفسُها إذا طُبِّقتْ على جسمٍ كتلتُه 4.0 kg؟

2. يجرُّ صبي عربةً بقوَّةٍ أفقيةٍ، فيؤدّي ذلك إلى تسارعِها. ينصُّ القانونُ الثالثُ لنيوتن على أن العربةَ تطبِّقُ قوَّةً مساويةً في المقدار ومعاكسةً في الاتجاه للقوَّةِ التي يبذلُها الصبي. كيف يمكنُ للعربةِ أن تتسارعَ في هذه الحالة؟ (ملاحظة: إن رسمَ مخطَّطِ القوى المؤثِّرةِ في العربةِ يساعدُكَ على الإجابةِ عن هذا السؤال.)

3. حدِّد قوَّتَي الفعلِ وردِّ الفعلِ في المواقفِ التالية:
أ. رجلٌ يخطو خطوة.
ب. كرةُ ثلجٍ تضربُ شخصًا من الخلف.
ج. لاعبُ بيسبول يلتقطُ الكرة.
د. هبَّةُ ريحٍ تدفعُ الشبّاك.

4. يتعرَّضُ مركبٌ شراعيٌّ لقوَّتين، إحداهما 390 N نحوَ الشمالِ، والأخرى 180 N نحو الشرق. إذا كانت كتلةُ المركبِ (مع ملاحيه) 270 kg، فما مقدارُ تعجيلِه واتّجاهُه؟

5. **تفكيرٌ ناقد** افترضْ أن حادثَ تصادمٍ رأسيٍّ وقعَ بين سيّارةٍ رياضيةٍ صغيرةٍ وحافلةٍ كبيرة. أي المركبتَيْنِ تتعرَّضُ لقوَّةِ دفعٍ أكبر؟ أيُّهما تتحرَّكُ بتعجيلٍ أكبر؟ أجِبْ واشرحْ.

القسم 3-4

القوى في حياتِنا اليومية

Everyday Forces

4-3 أهدافُ القسم

- يشرحُ الفرقَ بينَ الكتلةِ والوزن.
- يجدُ مقدارَ القوَّةِ العمودةِ واتّجاهَها.
- يصفُ مقاومةَ الهواءِ كنوعٍ من الاحتكاك.
- يستعملُ مُعاملاتِ الاحتكاكِ لحسابِ قوة الاحتكاك.

الوزن

أنت تعرفُ أنَّ كرةَ القدمِ تزنُ أكثرَ من كرةِ المضربِ، ما سببُ ذلك؟ إذا حملتَ في كلِّ يدٍ كرةً فإنك تحسُّ بقوَّتَيْنِ تؤثِّرانِ في يديكَ إلى أسفل. وبما أنَّ كتلةَ كرةِ القدمِ أكبرُ من كتلةِ كرةِ المضربِ، فإنَّ لقوَّةِ الجاذبيةِ تأثيرًا أكبرَ فيها، وبالتالي هي تشدُّها إلى أسفلَ بقوَّةٍ أكبرَ من قوَّةِ كرةِ المضرب.

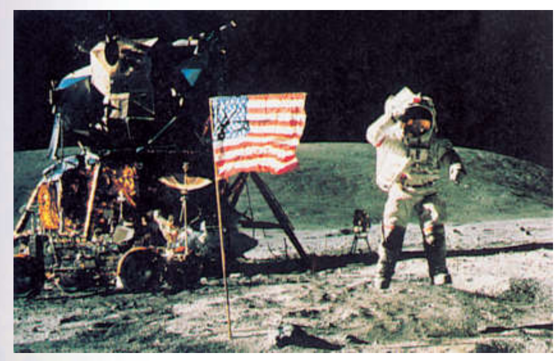
وقوَّةُ الجاذبيةِ $\vec{F}_g$ التي تؤثِّرُ بها الأرضُ في الكرةِ هي كمّيّةٌ اتّجاهيَّةٌ نحو مركزِ الأرض، وتُسمّى **الوزن** weight. مقدارُ تلك القوَّةِ كمِّيّةٌ عدديةٌ هي F_g، يمكنُ حسابُها باستعمالِ المعادلة $F_g = mg$، حيثُ m تمثلُ كتلةَ الكرةِ و g تمثِّلُ مقدارَ تعجيلِ الجاذبية، أو تعجيلَ السقوطِ الحرّ. نستعملُ في هذا الكتاب $g = 9.81\ \text{m/s}^2$.

الوزن

قوَّةُ الجاذبيةِ التي تؤثِّرُ في الجسم.

والوزنُ، بخلافِ الكتلةِ، ليسَ خاصّيَّةً من خواصِّ الجسمِ لأنَّ الوزنَ يعتمدُ على قوَّةِ الجاذبيةِ، وبالتالي على الموقع. مثلاً إذا كانَ وزنُ رائدِ الفضاءِ 800 N على سطحِ الأرضِ فإنه يزنُ حوالي 130 N فقط على سطحِ القمرِ كما في **الشكل 3-10**، لأنَّ تعجيلَ الجاذبيةِ على سطحِ القمرِ أقلُّ كثيرًا من $9.81\ \text{m/s}^2$.

ويمكنُ لوزنِ الجسمِ أن يتغيَّرَ مع الموقعِ حتى على سطحِ الأرض. فالأجسامُ تزنُ على المرتفعاتِ أقلَّ ممّا تزنُ على مستوى سطحِ البحر، لأنَّ قيمةَ g تتناقصُ بازديادِ البعدِ عن مركزِ الأرض. وتنتفخُ الكرةُ الأرضيةُ قليلاً عند خطِّ الاستواءِ نتيجةً لدورانِها، بذلك تكونُ نقاطُ خطِّ الاستواءِ أبعدَ قليلاً عن مركزِ الأرضِ من النقاطِ الأقربِ إلى القطبَيْن. في النتيجةِ قيمةُ g تقلُّ قليلاً إذا انتقلنا من القطبِ نحوَ خطِّ الاستواء.



الشكل 3-10

وزنُ رائدِ الفضاءِ على سطحِ القمرِ أقلُّ كثيرًا من وزنِهِ على سطحِ الأرضِ، لأنَّ تعجيلَ الجاذبيةِ على سطحِ القمرِ أقَلُّ كثيرًا من تعجيلِها على سطحِ الأرض.

القوَّةُ العمودية The Normal Force

نعلمُ أنَّ قوَّةَ الجاذبيةِ تؤثِّرُ في جهازِ تلفازٍ موضوعٍ على طاولة. كيف تفسِّرُ عدمَ سقوطِ الجهازِ تحت تأثيرِ وزنِهِ في اتّجاهِ الأرض؟ أجبْ مستعملاً القانونَ الأولَ لنيوتن.

بما أنَّ الجهازَ في حالةِ اتّزانٍ فلا بدَّ من وجودِ قوَّةٍ أخرى غيرِ وزنِهِ تؤثِّرُ فيه، ويجبُ أن تكونَ مساويةً للوزنِ في المقدارِ ومعاكسةً له في الاتّجاه. هذه القوَّةُ هي عمليًّا القوَّةُ التي تؤثِّرُ بها الطاولةُ في الجهاز، وتُسمّى **القوَّةَ العمودية** normal force $\vec{F}_n$.

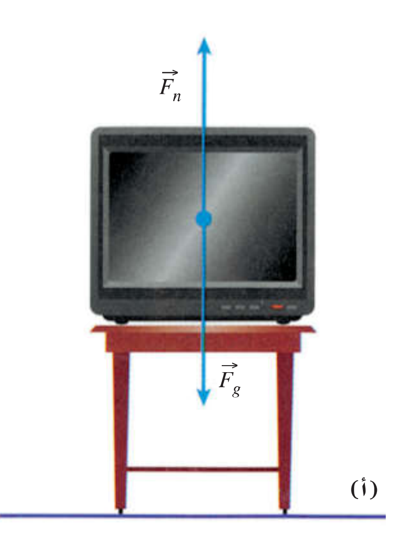
تُستعملُ كلمةُ متعامدة لأنَّ اتّجاهَ قوَّةِ التماس متعامدٌ مع سطحِ الطاولةِ، كما يوضحُ **الشكلُ 3-11** (أ).

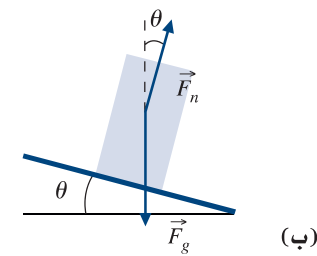
القوَّةُ العمودية normal force

القوَّةُ التي يؤثِّرُ بها جسمٌ في آخرَ في الاتجاهِ العمودي على سطحِ التماسِّ المشتركِ بينهما.

والقوَّةُ العموديةُ هي دائمًا عموديةٌ على سطحِ التماس، لكنَّها ليستْ دائمًا معاكسةً لاتجاهِ قوَّةِ الجاذبية. يُظهرُ **الشكلُ 3-11** (ب) مخطَّطَ القوى لثلاجةٍ قائمةٍ على منصَّةِ تحميل، حيثُ القوَّةُ المتعامدةُ عموديةٌ على سطحِ المنصةِ، لكنَّها ليستْ معاكسةً تمامًا لقوَّةِ الجاذبية. بشكلٍ عامّ، القوَّةُ العموديةُ تساوي في المقدارِ وتعاكسُ في الاتجاهِ مركّبةَ $\vec{F}_g$

في الاتّجاهِ العموديِّ لسطحِ التلامس. وعليهِ يكونُ مقدارُ القوَّةِ العمودية $F_n = mgcos\theta$ حيثُ تمثِّلُ θ الزاوية بين القوَّةِ العمودية والخطِّ الافتراضيِّ العموديِّ، أو بين سطحِ التماسِّ والخطِّ الافتراضيِّ الأفقيِّ.





الشكل 3-11

القوَّةُ العمودية $\vec{F}_n$ هي دائمًا عموديةٌ على سطحِ التماس، لكنها ليستْ بالضرورةِ معاكسةً لقوَّةِ الجاذبية.

قــوَّةُ الاحتـكـاك

نضعُ حاويةَ عصيرٍ على طاولة، كما يظهرُ في **الشكل 3-12** (أ). الحاويةُ في حالةِ سكونٍ واتِّزانٍ، ولن تتحرَّكَ تحت تأثيرِ قوَّةٍ أفقيـةٍ ضعيفةٍ جدًّا. حتى إذا تحرَّكَتْ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ كافيةٍ فإنها تتوقَّفُ بمجرَّدِ إزالةِ هذه القوَّةِ عنها.

الاحتكاكُ يقاومُ القوَّةَ المطبَّقة

تتأثَّرُ الحاويةُ في حالةِ السكونِ بقوَّتَيْنِ هما قوَّةُ الجاذبيةِ والقوَّةُ المتعامدةُ بوساطةِ الطاولةِ، وهما متساويتانِ ومتعاكستان. عندما تُدفَعُ الحاويةُ بقوَّةٍ أفقيةٍ ضعيفة، كما في **الشكل 3-12** (ب)، فإنَّ الطاولةَ تؤثِّرُ في الحاويةِ بقوَّةٍ تساوي القوَّة الأفقيةَ في المقدار، لكنْ في الاتجاهِ المعاكس، مما يبقي الحاويةَ في حالةِ اتزان. تسمّى قوَّةُ المقاومةِ التي تمنعُ الحاويةَ من التحرُّكِ على الطاولةِ قوَّةَ **الاحتكاكِ السكونيِّ** static friction $\vec{F}_s$.

وما دامت الحاويةُ غيرَ قادرةٍ على الحركةِ تكونُ قوَّةُ الاحتكاكِ السكونيِّ مساويةً ومعاكسةً للقوَّةِ المطبقة $\vec{F}_a$ في الاتجاهِ الأفقيِّ ($\vec{F}_s = -\vec{F}_a$). وتزدادُ قوَّةُ الاحتكاكِ بازديادِ القوَّةِ المطبَّقةِ وتتناقصُ بتناقصِها. عندما تبلغُ القوَّةُ المطبَّقةُ الحدَّ الأقصى، والحاويةُ ما تزالُ ساكنةً، تبلغُ قوَّةُ الاحتكاكِ قيمتَها القصوى $F_{s,max}$.

الاحتكاكُ السكونيّ static friction

قوَّةُ الممانعةِ التي تقاومُ الحركةَ النسبيةَ المتوقَّعةَ بين سطحَيْنِ متلامسَيْنِ، كلٌّ منهما في حالةِ اتِّزانٍ بالنسبةِ إلى الآخر.

الاحتكاكُ الحَركيُّ أقلُّ من الاحتكاكِ السكونيّ

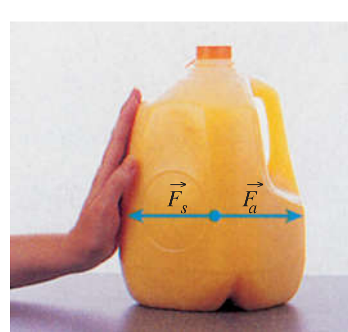
عندما يتعدّى مقدارُ القوَّةِ المطبَّقةِ على حاويةِ العصير $F_{s,max}$ تبدأُ الحاويةُ بالتحرُّكِ والتسارعِ نحوَ اليمين، كما في **الشكل 3-12** (ج)، وتبقى قوَّةُ الاحتكاكِ موجودةً مع تحرُّكِ الحاوية، لكن مقدارَها يصبحُ أقلَّ من $F_{s,max}$. تُسمّى قوَّةُ الاحتكاكِ المعيقةُ لحركةِ الجسمِ قوَّةَ **الاحتكاكِ الحركيّ** kinetic friction $\vec{F}_k$. ويكونُ مقدارُ محصِّلةِ القوى التي تؤثِّرُ في الجسمِ مساويًا للفرقِ بين القوَّةِ المطبَّقةِ وقوَّةِ الاحتكاكِ الحركي $F_a - F_k$.

تنشأُ قوى الاحتكاكِ من تفاعلاتٍ معقَّدةٍ على مستوًى مجهريٍّ بينَ السطوحِ المتلامسة.

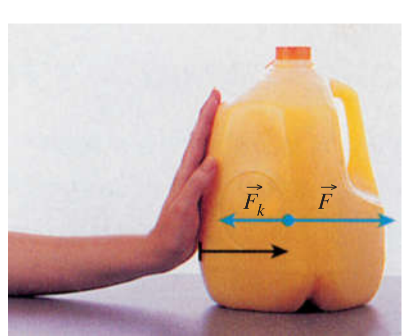
الشكل 3-12



(أ) لأنَّ الحاويةَ في حالةِ اتِّزان، فإنَّ أيَّ قوَّةٍ أفقيةٍ تطبَّقُ عليها يجبُ أن تؤدّيَ إلى تحريكِها.



(ب) عند تطبيقِ قوَّةٍ أفقيةٍ ضعيفة، تبقى الحاويةُ في حالةِ اتِّزان، لأنَّ قوّةَ الاحتكاكِ السكونيِّ تساوي وتعاكسُ القوَّةَ المطبَّقة.



(ج) عند تطبيقِ قوَّةٍ أكبرَ تبدأُ الحاويةُ بالحركةِ حين تتجاوزُ القوَّةُ المطبَّقةُ الحدَّ الأقصى لقوَّةِ الاحتكاكِ السكونيّ.

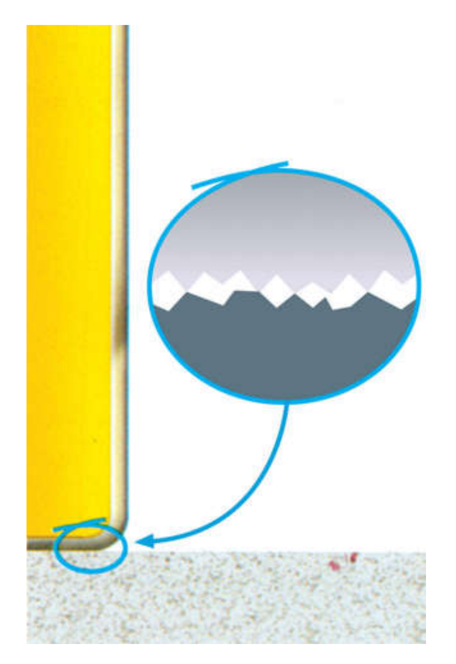
فمعظمُ السطوحِ، حتى التي تبدو ملساءَ، هي في الحقيقةِ خشنةٌ على المستوى المجهريِّ، كما هو موضَّحٌ في **الشكل 3-13**، حيثُ تتلامسُ السطوحُ عند عددٍ قليلٍ من النقاط. وعندما تكونُ السطوحُ المتلاصقةُ مستقرَّةً بعضِها بالنسبةِ إلى بعض، فإنها تلتصقُ عند نقاطِ تماسِّها المحدَّدة. بسببِ هذا التلاصقِ يلزمُ أن تكونَ القوَّةُ الكافيةُ لتحريكِ جسمٍ مستقرٍّ أكبرَ من القوَّةِ التي تحرِّكُهُ بسرعةٍ ثابتة.

الاحتكاكُ الحركي

قوَّةُ الممانعةِ التي تقاومُ الحركةَ النسبيةَ بين سطحَيْن متلامسَيْن يتحرَّكُ أحدُهما بالنسبةِ إلى الآخر.

قوَّةُ الاحتكاكِ تتناسبُ طردًا مع القوَّةِ العمودية

أنتَ تعلمُ أنَّ تحريكَ كرسيٍّ بسرعةٍ ثابتةٍ على الأرضِ أسهلُ من تحريكِ طاولةٍ ثقيلةٍ بالسرعةِ نفسِها. وفي الحالتين تكونُ القوَّةُ المطبَّقةُ مساويةً ومعاكسةً لقوَّةِ الاحتكاك، إلا أنَّ قوَّةَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الطاولةِ والأرضِ هي أكبرُ من قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الكرسيِّ والأرض. وبالتجربةِ نلاحظُ أنَّ مقدارَ قوَّةِ الاحتكاكِ يتناسبُ طردًا مع مقدارِ القوَّةِ العموديةِ التي يطبِّقُها السطحُ على الجسم. ولأنَّ الطاولةَ أثقلُ من الكرسيِّ فإنَّ الطاولةَ تواجهُ قوَّةً عموديةً أكبرَ، وبالتالي قوَّةَ احتكاكٍ أكبر.



الشكل 3-13
على المستوى المجهريِّ، حتى السطوحُ الناعمةُ جدًّا تتلامسُ في نقاطٍ محدَّدةٍ فقط.

الاحتكاكُ يعتمدُ على نوعيةِ السطوحِ المتلاصقة

تذكَّرْ دائمًا أنَّ قوَّةَ الاحتكاكِ هي قوَّةٌ عِيانيةٌ ناتجةٌ من جملةِ قوى معقَّدةٍ على المستوى المجهريّ. وليستِ العلاقةُ المباشرةُ بين القوَّةِ المتعامدةِ وقوَّةِ الاحتكاكِ سوى تقريبٍ مقبولٍ للاحتكاكِ بين سطحينِ جافَّيْن مستقرَّيْن أو منزلقَيْن الواحدُ فوقَ الآخر. تعتمدُ قوَّةُ الاحتكاكِ على عواملَ مختلفةٍ تبعًا للظروفِ المختلفة.

فتحريكُ طاولةٍ على أرضٍ مرصوفةٍ بالبلاطِ أسهلُ من تحريكِها على أرضٍ مفروشةٍ بسجّادٍ سميك. وبالرغمِ من أنَّ القوَّةَ العموديةَ على الطاولةِ هي نفسُها في الحالتَيْن، فإنَّ قوَّةَ الاحتكاكِ بين الطاولةِ والسجّادةِ أكبرُ ممّا هي بين الطاولةِ وبلاطِ الأرض.

هكذا نرى أنَّ قوَّةَ الاحتكاكِ، بالإضافةِ إلى تأثُّرِها بالقوَّةِ العمودية، تتأثَّرُ أيضًا بنوعِ السطحَيْنِ المتلاصقَيْن. تُسمّى الكمّيةُ التي تعبِّرُ عن اعتمادِ قوَّةِ الاحتكاكِ على سطحٍ معيَّنٍ **مُعاملَ الاحتكاك** coefficient of friction. يمثَّلُ مُعاملُ الاحتكاكِ بالحرفِ اليونانيِّ μ «ميو».

مُعاملُ الاحتكاك

يُعرَّفُ معاملُ الاحتكاكِ بأنه نسبةُ مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ إلى مقدارِ القوَّةِ العموديةِ بين سطحَيْن. وعليه يكونُ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ نسبةَ مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيِّ إلى القوَّةِ العمودية:

$$\mu_k = \frac{F_k}{F_n}$$

ومعاملُ الاحتكاكِ السكوني هو نسبةُ القوَّةِ القصوى للاحتكاكِ السكونيِّ إلى القوَّةِ العمودية:

$$\mu_s = \frac{F_{s,\,max}}{F_n}$$

وعند معرفةِ μ والقوَّةِ العموديةِ على الجسمِ يمكنُ حسابُ مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ مباشرةً:

$$F_f = \mu F_n$$

معاملُ الاحتكاك

نسبةُ مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ إلى مقدارِ القوَّةِ العموديةِ بين سطحَيْن.

يعطي **الجدولُ 3-1** بعضَ القيمِ التجريبيةِ لكلٍّ من μ_s و μ_k لموادَّ مختلفة. نلاحظُ أنَّ $\mu_k \leq \mu_s$ بين أيِّ سطحَيْن.

الجدول 3-1 مُعاملُ الاحتكاك (قيَم تقريبيَّة)

	μ_s	μ_k		μ_s	μ_k
الفولاذُ على الفولاذ	0.74	0.57	الخشبُ المشمَّعُ على الثلجِ الرطب	0.14	0.1
الألمنيوم على الفولاذ	0.61	0.47	الخشبُ المشمَّعُ على الثلجِ الجافّ	—	0.04
المطّاطُ على الإسمنتِ الجافّ	1.0	0.8	المعدنُ على المعدنِ (مع التشحيم)	0.15	0.06
المطّاطُ على الإسمنتِ الرطب	—	0.5	الجليدُ على الجليد	0.1	0.03
الخشبُ على الخشب	0.4	0.2	التفلونُ على التفلون	0.04	0.04
الزجاجُ على الزجاج	0.9	0.4	عظامُ المفاصلِ عند الإنسان	0.01	0.003

مثال 3 (ج)

معاملُ الاحتكاك

المسألة

يلزمُ قوَّةٌ أفقيةٌ مقدارُها 75 N لتحريكِ عربةٍ مستقرَّةٍ كتلتُها 24 kg على أرضٍ أفقية. جدْ معاملَ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ العربةِ والأرض.

الحـــل

المعطى: $F_{s,\,max} = F_{applied} = 75\ \text{N}$ $\quad m = 24\ \text{kg}$

المجهول: $\mu_s = ?$

أستعملُ معادلةَ معاملِ الاحتكاكِ السكونيّ.

$$\mu_s = \frac{F_{s,\,max}}{F_n} = \frac{F_{s,\,max}}{mg}$$

$$\mu_s = \frac{75\ \text{N}}{24\ \text{kg} \times 9.81\ \text{m/s}^2}$$

$$\mu_s = \boxed{0.32}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

الجوابُ الذي تعطيه الآلةُ الحاسبةُ لمعاملِ الاحتكاكِ هو 0.318 552 497 5. وبما أنَّ لقيمةِ الكتلةِ رقمَيْنِ معنويَّيْنِ فقط، فإنَّ الجوابَ يدوَّرُ ليصبحَ 0.32.

تطبيق 3 (ج)

مُعامِلُ الاحتكاك

1. عندما تتحرَّكُ العربةُ في المثالِ 3 (ج) يلزمُها قوَّةٌ أفقيةٌ مقدارُها 53 N لتحريكِها بسرعةٍ ثابتة. جدْ معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ μ_k بينَ العربةِ والأرض.

2. يلزمُنا قوَّةٌ أفقيةٌ مقدارُها 365 N لتحريكِ كرسيٍّ ساكنٍ كتلتُه 25 kg على أرضٍ أفقية. وبعد تحريكِه يلزمُنا قوَّةٌ أفقيةٌ مقدارُها 327 N لتحريكِه بسرعةٍ ثابتة.
   أ. جدْ معاملَ الاحتكاكِ السكونيِّ بين الكرسيِّ والأرض.
   ب. جدْ معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الكرسيِّ والأرض.

3. يحرِّكُ عاملٌ في متحفِ مصنوعاتٍ يدويةٍ إلى أماكنِها فوقَ منصّاتِ عرضٍ مختلفة. استعملِ **الجدولَ 3-1** لإيجادِ $F_{s, max}$ و F_k لما يلي:
   أ. تحريكُ جسمٍ من الألمنيوم كتلتُهُ 145 kg على سطحٍ أفقيٍّ من الفولاذ.
   ب. جرُّ سيفٍ فولاذيٍّ كتلتُهُ 15 kg على درعٍ أفقيٍّ من الفولاذ.
   ج. دفعُ سريرٍ خشبيٍّ كتلتُهُ 250 kg على أرضٍ خشبيَّةٍ أفقيَّة.
   د. تحريكُ إناءٍ زجاجيٍّ كتلتُهُ 0.55 kg على رفٍّ زجاجيٍّ أفقيّ.

مثال 3 (د)

التغلُّبُ على الاحتكاك

المسألة

يجُرُّ طالبٌ صندوقًا من الكتبِ بوساطةِ حبلٍ يُشَدُّ بقوة 90.0 N وبزاويةِ ميل 30.0° كما في الشكل 3-14. إذا كانَت كتلةُ صندوقِ الكتبِ 20.0 kg ومعاملُ الاحتكاكِ بينَهُ وبين الممرِّ 0.50، فما محصّلةُ القوى $\vec{F}_{\text{المحصلة}}$ المؤثِّرةِ في الصندوق؟



الشكل 3-14

الحل

1. أعرِّف

المعطى: $\mu_k = 0.50$ $\quad m = 20.0\ kg$

$\theta = 30.0°$ $\quad F_a = 90.0\ N$

المجهول: $\vec{F}_{\text{المحصلة}} = ?$

المخطط:

$\vec{F}_n$ $\quad \vec{F}_a$ $\quad \vec{F}_k$ $\quad \vec{F}_g$

2. أخطِّط

أختارُ الحالةَ أو المعادلة (المعادلات):

أحسبُ أوَّلاً القوَّةَ المتعامدةَ $\vec{F}_n$ بتطبيقِ الشرطِ الأولِ للاتِّزانِ في الاتّجاهِ العمودي.

$$\Sigma F_y = 0$$

أحسبُ قوَّةَ الاحتكاكِ الحركيِّ في الصندوق.

$$F_k = \mu_k F_n$$

أحسبُ محصِّلةَ القوى المؤثِّرةِ في الصندوق.

$$\Sigma \vec{F}_x = \vec{F}_{\text{المحصلة}}$$

3. أحسب

أختارُ نظامَ إحداثياتٍ مناسبًا وأجدُ المركَّبتَيْنِ x و y لجميعِ القوى.

يُظهِرُ المخطَّطُ في **الشكل 3-15** نظامَ الإحداثياتِ المناسب.

الشكل 3-15

أجدُ المركَّبةَ y للقوى المؤثِّرة.

$$F_{a,y} = (90.0 \text{ N})(\sin 30.0°) = 45.0 \text{ N}$$

أجدُ المركَّبةَ x للقوى المؤثِّرة.

$$F_{a,x} = (90.0 \text{ N})(\cos 30.0°) = 77.9 \text{ N}$$

أستعملُ الكتلةَ لحسابِ قوَّةِ الجاذبيةِ التي تؤثِّرُ في الصندوق.

$$F_g = (20.0 \text{ N})(9.8 \text{ m/s}^2) = 196 \text{ N} \text{ إلى الأسفل}$$

كي أحسبَ القوَّةَ المتعامدةَ، أحسبُ مجموعَ القوى في الاتّجاهِ y وأجعلُه صفرًا وأحصُلُ على F_n .

$$\Sigma F_y = F_n + \Sigma F_{a,y} - Fg$$

$$F_n + 45.0 \text{ N} - 196 \text{ N} = 0$$

$$F_n = -45.9 \text{ N} + 196 \text{ N} = 151 \text{ N}$$

أستعملُ القوَّةَ المتعامدةَ لحسابِ قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيّ.

$$F_k = \mu_k F_n = (0.50)(151 \text{ N}) = 75.5 \text{ N} \text{ إلى اليسار}$$

أحسبُ محصِّلةَ القوى في الاتّجاهِ الأفقي:

$$\Sigma F_x = \Sigma F_{a,x} - F_k = 77.9 \text{ N} - 75.5 \text{ N} = 2.4 \text{ N}$$

محصِّلةُ القوى هي 2.4 N إلى اليمين.

$$\boxed{\vec{F}_{\text{المحصلة}} = 2.4 \text{ N} \text{ إلى اليمين}}$$

4. أقيِّم

إنَّ مقدارَ القوَّةِ المتعامدةِ لا يساوي مقدارَ وزنِ الجسم، لأنَّ المركَّبةَ الشاقوليَّةَ للقوَّةِ التي يطبِّقُها الطالب تساهمُ في رفعِ الصندوق.

تطبيق 3 (د)

التغلُّبُ على الاحتكاك

1. لتحريكِ صندوقِ كتبٍ كتلتُه 35.0 kg، يشدُّ عامل بقوَّةٍ مقدارُها 185 N وبزاويةِ 25.0° فوقَ الأفقيّ. جدْ تعجيلَ الصندوقِ إذا كانت μ_k بينهُ وبين الأرض تساوي 0.27.

2. يحاولُ العاملُ في السؤالِ 1 أن يحرِّكَ الصندوقَ صعودًا على منصَّةٍ تميلُ بزاويةِ 12° مع الأفقيّ. إذا بدأ الصندوقُ بالتحرُّكِ من السكونِ من أسفلِ المنصَّةِ بمقدارِ القوَّةِ نفسِها 185 N وبزاويةِ 25.0° مع المنصَّةِ، فما تعجيلُ الصندوق؟ افترضْ أنَّ $\mu_k = 0.27$.

3. صندوقٌ كتلته 75 kg ينزلقُ على منحدرٍ يميلُ بزاوية 25.0° مع الأفقيِّ بتعجيلٍ مقدارُه $3.60\ m/s^2$.
أ. جدْ μ_k بين الصندوقِ والمنحدر.
ب. كم يكونُ تعجيلُ صندوق كتلته 175 kg على المنحدرِ نفسه.

4. يتحرَّكُ صندوقُ كتبٍ وزنُهُ 325 N بسرعةٍ ثابتةٍ على الأرض، إذا تمَّ دفعُهُ بقوَّةٍ مقدارُها 425 N واتّجاهُها إلى أسفلَ بزاويةِ 35.2° تحتَ الأفقيّ، فكم تكونُ μ_k بين الصندوقِ والأرض؟

مقاومةُ الهواءِ نوعٌ من الاحتكاك

إنَّ قوَّةَ مقاومةِ الهواءِ المعيقةَ للحركةِ نوعٌ من أنواعِ الاحتكاك، وهي مهمَّةٌ في تحليلِ الحركة. عندما يتحرَّكُ جسمٌ في وسطٍ مائعٍ كالهواءِ أو الماءِ فإنَّ الوسطَ المائعَ يطبِّقُ مقاومةً لحركةِ الجسم.

فمثلاً تؤثِّرُ قوَّةُ مقاومةِ الهواءِ في سيّارةٍ متحرِّكةٍ في الاتجاهِ المعاكسِ لاتّجاهِ سيرِها. في حالةِ السرعاتِ المنخفضةِ تتناسبُ تلك القوَّةُ بشكلٍ تقريبيٍّ طردًا مع مقدارِ سرعةِ السيّارة. لكن عند السرعاتِ العاليةِ فإنها تتناسبُ طردًا بشكلٍ تقريبيٍّ مع مربَّعِ سرعةِ السيّارة. وعندما يساوي مقدارُ مقاومة الهواء مقدارَ القوَّةِ التي تحرِّكُ السيّارةَ (في الاتّجاهِ المعاكسِ طبعًا) تصبحُ محصِّلةُ القوى صفرًا وتسيرُ السيّارةُ بسرعةٍ ثابتة.

يشكلُ سقوطُ الجسمِ في الهواءِ موقفًا مشابهًا. فالجسمُ الساقطُ تزدادُ سرعتُهُ، وبازديادِها تزدادُ قوَّةُ مقاومةِ الهواءِ على الجسم، وهي متّجهةٌ إلى أعلى، إلى أن تساويَ قوَّةَ الوزنِ المتّجهةَ إلى أسفل. عندها تصبحُ محصِّلةُ القوى صفرًا فيتابعُ الجسمُ حركتَهُ إلى أسفلَ بسرعةٍ قصوى ثابتةٍ تُسمّى سرعةَ المنتهى terminal speed.

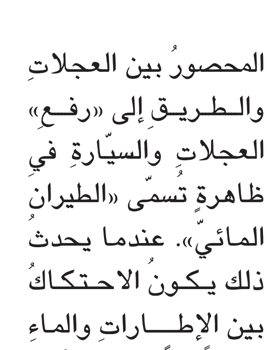
الفيزياءُ والحياة

القيادةُ والاحتكاك:

قد تبدو عمليةُ تعجيلِ السيّارةِ بالنسبةِ إلى السائقِ شيئًا بسيطًا لا يتعدّى الضغطَ على دوّاسةٍ أو دورانَ عجلة. لكن ما القوى التي تؤثّرُ في ذلك؟

إنَّ سببَ حركةِ السيّارةِ هو دورانُ عجلاتِها التي تحاولُ دفعَ الطريقِ إلى الخلف. يمثّلُ ردُّ فعلِ الطريق، في الحقيقةِ، القوَّةَ التي تسبِّبُ تسارعَ السيارة. لا يمكنُ للعجلات، من دونِ هذا الاحتكاكِ بينَ الإطاراتِ والأرض، أن تطبّقَ قوّةً على الطريق، ولن تتأثّرَ السيارةُ بالتالي بردِّ فعلِ هذه القوّة. لذلك، فإنَّ التعجيلَ، سواءٌ كان تسارعًا أو تباطؤًا أو تغييرًا في الاتجاه، يتطلَّبُ قوّةَ الاحتكاكِ هذه. يؤمِّنُ الماءُ والثلجُ احتكاكًا أقلّ، ويقلِّلُ بالتالي من سيطرةِ السائقِ على مقدارِ سرعةِ السيارةِ واتّجاهِها.

عندما تسيرُ سيّارةٌ ببطءٍ في منطقةٍ من الطريقِ مغطّاةٍ بالماء، ينضغطُ الماءُ إلى الخارجِ من تحتِ العجلات. لكنْ إذا تحرّكتِ السيارةُ بسرعةٍ عاليةٍ فلن يكونَ هناك الوقتُ الكافي لوزنِ السيارةِ كي ينضغطَ الماءُ من تحتِ عجلاتِها نحوَ الخارج. ويؤدّي الماءُ المحصورُ بين العجلاتِ والطريقِ إلى «رفعِ» العجلاتِ والسيّارةِ في ظاهرةٍ تُسمّى «الطيرانَ المائيّ». عندما يحدث ذلك يكونُ الاحتكاكُ بين الإطاراتِ والماءِ قليلاً جدًّا ويصبحُ من الصعبِ السيطرةُ على السيّارة.



لمنعِ «الطيرانِ المائيّ» تُستعملُ إطاراتٌ خاصةٌ للمطر، كالتي في الشكلِ أعلاه، تمنعُ المياهَ من التجمُّعِ بينها وبين الأرض. وتسمحُ أخاديدُ محفورةٌ في محيطِ العجلاتِ للمياهِ بالتجمُّعِ من حيثُ تُطرَدُ لاحقًا إلى الخارجِ عبرَ تشقُّقاتٍ أخرى محفورةٍ على الجانبين.

ولأنَّ الثلجَ يتحرَّكُ بسهولةٍ أقلَّ من الماءِ، فإنَّ إطاراتِ الثلجِ تصمَّمُ بشكلٍ يختلفُ عن إطاراتِ الماء. لإطاراتِ الثلجِ أخاديدُ عميقةٌ في محيطِها تمكّنُها من الانغماسِ في الثلجِ والوصولِ إلى الإسفلت. وفي أقصى الظروف، هذه الأخاديدُ تدفعُ الثلجَ إلى الخلفِ.

مراجعةُ القسم 3-4

1. ارسمْ مخطَّطَ القوى لكلٍّ من الأجسامِ في الحالاتِ التالية:

أ. مقذوفٌ يتعرَّضُ لمقاومةِ الهواء.

ب. صندوقٌ يُدفعُ على أرضٍ خشنة.

2. تبلغُ كتلةُ كيسٍ من السكَّرِ 2.26 kg.

أ. ما وزنُ الكيسِ بالنيوتن على سطحِ القمرِ حيثُ يساوي تعجيلُ الجاذبيةِ سدسَ قيمتِه على سطحِ الأرض؟

ب. ما الوزنُ على سطحِ المشتري حيثُ يساوي تعجيلُ الجاذبيةِ 2.64 ضعفَ قيمتِه على سطحِ الأرض؟

3. يتّزنُ جسمٌ كتلتُهُ $m = 2.0$ kg على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ $\theta = 60.0°$ فوقَ الأفقيِّ وبتأثيرِ قوَّةٍ أفقية.

أ. جدْ مقدارَ القوَّةِ الأفقية. (أهمل الاحتكاك)

ب. جدْ مقدارَ القوَّةِ العموديةِ المؤثِّرةِ في الجسم.

4. يحتاجُ متزلِّجٌ كتلتُهُ 55 kg إلى قوَّةٍ أفقيةٍ مقدارُها 198 N لينطلقَ من حالةِ السكون، بينما يحتاجُ إلى قوّةٍ أفقيةٍ أخرى مقدارُها 175 N ليتحرَّكَ بسرعة ثابتة. جدْ مُعاملَيِ الاحتكاكِ السكونيَّ والحركيَّ بين المزلاجينِ والثلج.

5. **تفكيرٌ ناقد** تتناسبُ قوّةُ مقاومةِ الهواءِ المؤثِّرةُ في جسمٍ ساقطٍ مع مربَّعِ سرعتِهِ تقريبًا، ويكونُ اتجاهُها رأسيًّا إلى أعلى. هل يمكنُ أن يؤديَ سقوطُ الجسمِ بسرعةٍ عاليةٍ جدًّا إلى أن تتعدّى قوّةُ مقاومةِ الهواءِ مقدارَ وزنِ الجسمِ وتتسبَّبَ في تحريكِهِ إلى أعلى؟ اشرحْ جوابَك.

ملخّصُ الفصل 3

أفكارٌ أساسية

القسم 3-1 التغيّرات في الحركة

- القوّةُ كمّيّةٌ اتّجاهيةٌ تسبّبُ تغييرَ الحركة.
- يمكنُ للقوّةِ أن تؤثّرَ عبرَ التماسِّ بين جسمَيْن (قوّة تماسّ) أو عن بُعد (قوّة مجالية).
- إنَّ مخطَّطَ القوى المؤثِّرةِ في جسمٍ معيَّنٍ يُظهِرُ حصرًا القوى التي تؤثِّرُ في هذا الجسمِ وفي حركتِه.

القسم 3-2 القانون الأوّل لنيوتن

- إنَّ ميلَ جسمٍ إلى المحافظةِ على حالةِ حركتِهِ يُسمّى القصورَ الذاتيّ.
- إنَّ محصِّلةَ القوى الخارجيَّةِ المؤثِّرةِ في جسمٍ معيَّنٍ هي الجمعُ الاتّجاهيُّ لكلِّ القوى المؤثِّرةِ فيه. ويكونُ الجسمُ في حالةِ اتّزانٍ إذا كانتْ محصِّلةُ القوى المؤثِّرةِ فيه صفرًا.

القسم 3-3 القانونان الثاني والثالث لنيوتن

- إنَّ محصِّلةَ القوى المؤثِّرةِ في جسمٍ تساوي حاصلَ ضربِ كتلةِ الجسمِ في تعجيله.
- عندما يطبّقُ كلٌّ من جسمَيْن قوّةً على بعضها، تكونُ القوّتان متساويتَيْن في المقدارِ ومتعاكسَتَيْنِ في الاتّجاهِ. تُسمّى هاتانِ القوّتانِ فعلاً وردّ فعل. تكونُ القوى دائمًا مزدوجة.

القسم 3-4 القوى في حياتِنا اليومية

- إنَّ وزنَ جسمٍ معيَّنٍ هو قوّةُ الجاذبيةِ المؤثِّرةُ فيه، وهو يساوي حاصلَ ضربِ كتلةِ الجسمِ في تعجيلِ الجاذبيةِ الأرضية.
- إنَّ القوّةَ العموديةَ هي القوّةُ التي يؤثِّرُ بها سطحٌ في سطحٍ آخرَ في الاتجاهِ العموديِّ على سطحِ تماسِّهما.
- الاحتكاكُ قوّةُ مقاومةٍ تؤثِّرُ في الاتجاهِ المعاكسِ لاتجاهِ الحركةِ النسبيةِ بين سطحَيْنِ متلامسَيْن. تتناسبُ قوّةُ الاحتكاكِ طردًا مع القوّةِ العمودية.

مصطلحاتٌ أساسية

القوّةُ Force (ص 76)

قوّةُ التماسّ Contact force (ص 77)

القوّةُ المجالية Field force (ص 77)

مخطّطُ القوى Force diagram (ص 77)

القصور الذاتي Inertia (ص 80)

محصّلةُ القوى net force (ص 81)

الاتّزان Equilibrium (ص 84)

قوّتا الفعل وردّ الفعل Action and reaction (ص 87)

الوزن Weight (ص 89)

القوّةُ العمودية Normal force (ص 89)

الاحتكاكُ السكوني Static friction (ص 90)

الاحتكاكُ الحركيّ Kinetic friction (ص 91)

معاملُ الاحتكاك Coefficient of friction (ص 91)

رموزُ المتغيّرات

الكمّيّة	الوحدة	التحويل
F القوّة (متّجه)	N نيوتن	$N = kg \cdot m/s^2$
F	N نيوتن	$N = kg \cdot m/s^2$
μ معاملُ الاحتكاك	لا وحدة له	–



مراجعةُ الفصل 3

راجعْ وقيِّمْ

القوى والقانونُ الأولُ لنيوتن

أسئلةُ مراجعة

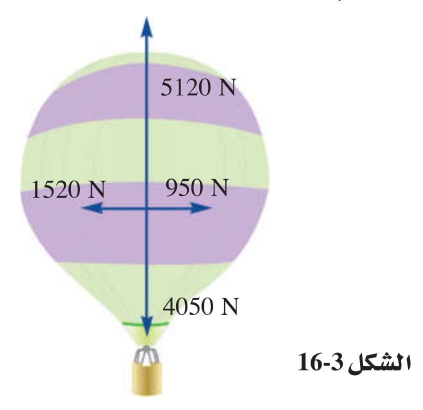
1. هل يمكنُ لجسمٍ أن يتحرَّكَ دون تأثيرِ قوَّةٍ فيه؟ اشرحْ.
2. إذا كانَ الجسمُ في حالةِ سكونٍ، فهل يعني ذلك عدمَ وجودِ قوًى خارجيةٍ تؤثِّرُ فيه؟
3. يتوقَّفُ الجسمُ لحظةً في أعلى نقطةٍ من مسارِه، بعدَ إطلاقِهِ رأسيًّا في الهواء، فهل يكونُ في حالةِ اتِّزانٍ عندَ تلك النقطة؟ اشرحْ.
4. ما الكمِّيةُ الفيزيائيّةُ التي يُقاسُ بها القصورُ الذاتيُّ لجسمٍ معيَّنٍ؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

5. وُضِعتْ كُرةٌ على أرضِ شاحنة. صفْ حركةَ الكُرةِ عندما تتسارعُ الشاحنةُ إلى الأمام.
6. وُضِعَ صندوقٌ كبيرٌ غيرُ مثبَّتٍ على أرضِ شاحنة،
   أ. فسِّرْ سببَ انزلاقِ الصندوقِ إلى مؤخِّرِ الشاحنةِ لدى انطلاقِها متسارعةً إلى الأمام.
   ب. ماذا يحدثُ للصندوقِ حين يدوسُ السائقُ على مكابحِ الشاحنة؟

مسائلُ تطبيقية

7. قطعةُ حلوى في طبقٍ تتعرَّضُ لقوَّةِ جاذبيةِ الأرضِ المُتَّجهةِ نحو مركزِ الأرضِ، ومقدارُها 8.9 N، ولقوَّةٍ مُتعامدةٍ إلى أعلى من الطبقِ مقدارُها 11.0 N ولقوَّةٍ من السكِّينِ مُتّجهةٍ إلى أسفلَ مقدارُها 2.1 N. ارسمْ مُخطَّطَ القوى المؤثرةِ في قطعةِ الحلوى.
8. دُفعَ كرسيٌّ إلى الأمامِ بقوّةِ 185 N. تؤثِّرُ جاذبيةُ الأرضِ في الكرسيِّ بقوّةٍ مقدارُها 155 N، كما يتعرَّضُ الكرسيُّ لقوَّةٍ مُتعامدةٍ من سطحِ الأرضِ مقدارُها 155 N. ارسمْ مخطَّطَ القوى مبيِّنًا القوى المؤثِّرةَ في الكرسيّ.
9. ارسمْ مُخطَّطَ القوى لكلٍّ من الأجسامِ التالية:
   أ. كُرةٌ في حالةِ السقوطِ الحُرِّ وهي تتعرَّضُ لمقاومةِ الهواء.
   ب. طوّافةٌ ترتفعُ عن مِنَصَّةِ الانطلاق.
   ج. رياضيٌّ يعدو في مسارٍ أفقيّ.
10. يتعرَّضُ المِنطادُ الظاهرُ في **الشكلِ 16-3** لأربعِ قوًى. جدْ مقدارَ محصِّلةِ هذه القوى.



الشكل 16-3

11. يشدُّ عاملا إنقاذٍ قاربَ نجاة. يتعرَّض القاربُ لمُحصِّلةِ قوة خارجيةٍ مقدارُها 334 N باتّجاهِ اليمين إذا كان شدُّ العاملين في اتجاهٍ واحد، ولمُحصِّلةِ قوة خارجية مقدارُها 106 N في اتّجاهِ اليسارِ إذا كان شدُّ العاملَيْن متُعاكسًا.
    أ. ارسمْ مُخطَّطَ القوى المؤثِّرةِ في القاربِ في كلٍّ من الحالتَيْن.
    ب. جدْ مقدارَ قوّةِ الشدِّ لكلِّ عاملٍ على حدة، وفي كلٍّ من الحالتَيْن (مُتجاهِلاً القوى الأخرى المؤثِّرةَ في القارب).
12. يشُدُّ طفلٌ وسادةً بقوَّة 5 N، بزاويةِ °37 فوق الأفقيّ. جدْ المُرَكَّبتَيْنِ F_x و F_y لهذهِ القوَّة.

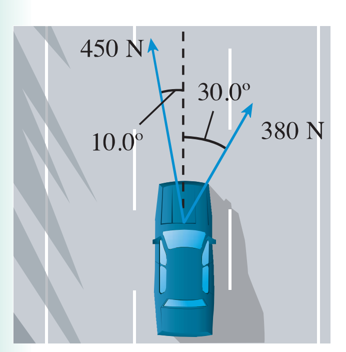
القانونانِ الثاني والثالثُ لنيوتن

أسئلةُ مراجعة

13. تنجذبُ الأرضُ نحو جسمٍ معيَّنٍ بقوَّةٍ مساويةٍ في المقدارِ ومعاكسةٍ في الاتّجاهِ للقوّةِ التي تجذبُ بها الأرضُ هذا الجسم. اشرحْ لماذا لا يكونُ تعجيلُ الأرضِ مساويًا لتعجيلِ الجسم.
14. اشرحِ القانونَ الثانيَ لنيوتن بدلالةِ القصورِ الذاتي.

15. لدى رائدِ فضاءٍ موجودٍ على سطحِ القمرِ صندوقا شحنٍ كتلتُهما 110 kg و 230 kg. قارنْ بين القوَّتَيْنِ المطلوبتَيْنِ لرفعِ الصندوقَيْنِ شاقوليًّا فوقَ سطحِ القمرِ والقوتينِ اللازمتَيْنِ لرفعِهما فوقَ سطحِ الأرض.

16. ارسمْ مخطَّطًا للقوى المؤثِّرةِ في عربةٍ يجرُّها حصان، لتحديدِ الفعلِ وردِّ الفعلِ في هذه الحالة.



الشكل 3-17

أسئلةٌ حول المفاهيم

17. يسبحُ رائدُ فضاءٍ في الفضاءِ بعيدًا عن أيِّ كواكبَ أو نجوم. يلاحظُ صخرةً كبيرةً منفصلةً عن كوكبٍ غريب، عائمةً بالقربِ من السفينةِ الفضائية. هل يجبُ عليه دفعُ الصخرةِ بهدوءٍ أم ركلُها بقوّةٍ لإدخالِها في مستودعِ الشحنِ التابعِ للسفينة؟ لماذا؟

18. اشرحْ لماذا يجبُ على متسلِّقِ الجبالِ أن يشدَّ الحبلَ إلى أسفلَ لكي يتسلَّقَ إلى أعلى. قارنْ بين القوّةِ التي تؤثِّرُ بها يدا المتسلِّقِ وبين قوّةِ وزنِه، خلالَ المراحلِ المختلفةِ لكل خطوةٍ من خطواتِ تسلُّقِهِ إلى أعلى.

19. تسيرُ سيّارةٌ كتلتُها 1850 kg نحوَ اليمينِ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 1.44 m/s.

أ. ما محصِّلةُ القوّةِ التي تؤثِّرُ في السيارة؟

ب. كم تكونُ محصِّلةُ القوّةِ التي تؤثِّرُ في السيّارةِ إذا كانت تسيرُ نحوَ اليسار؟

مسائلُ تطبيقية

20. ما التعجيلُ الذي يتحرَّكُ بها صندوقٌ كتلتُهُ 24.3 kg إذا دفعتَهُ بقوّةٍ مقدارُها 85.5 N؟

21. ما محصِّلةُ القوّةِ التي يجبُ تطبيقُها على صندوقٍ كتلتُهُ 25 kg لكي يتحرَّكَ بتعجيلِ $2.2\ m/s^2$؟

22. طبِّقَتْ قوّتانِ على سيّارةٍ لكي تتسارعَ كما في **الشكل 3-17**

أ. ما محصِّلةُ القوّةِ المؤثِّرةِ في السيّارة؟

ب. إذا كانت كتلةُ السيارةِ 3200 kg، فما مقدارُ تعجيلها؟ (أهمِلْ قوّةَ الاحتكاك)

الوزنُ والاحتكاكُ والقوّةُ العمودية

أسئلةُ مراجعة

23. اشرحِ العلاقةَ بين الكتلةِ والوزن.

24. قُذفتْ كرةٌ كتلتُها 0.150 kg شاقوليًّا إلى أعلى، بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 20.0 m/s.

أ. ما مقدارُ القوّةِ المؤثِّرةِ في الكرةِ عند وصولِها إلى نصفِ ارتفاعِها الأقصى؟ (اهملْ مقاومةَ الهواء)

ب. ما مقدارُ القوّةِ المؤثِّرةِ في الكرةِ عند وصولِها إلى نقطةِ ارتفاعِها الأقصى؟

25. ارسُمْ مُخطَّطَ القوى لسلَّةِ فاكهةٍ في كلٍّ من الحالاتِ التالية:

أ. حالةِ سكونٍ على سطحٍ أفقيّ.

ب. حالةِ سكونٍ على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ 12° فوقَ الأفقيّ.

ج. حالةِ سكونٍ على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ 25° فوقَ الأفقيّ.

د. حالةِ سكونٍ على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ 45° فوقَ الأفقيّ.

26. جدْ مقدارَ القوّةِ العموديةِ لكلٍّ من الحالاتِ الواردةِ في السؤالِ السابق، إذا كانَت كتلةُ السلَّةِ 5.5 kg.

27. يستقرُّ إبريقُ شايٍ على سطحِ طاولةٍ أفقيّ. تُرفَعُ إحدى قوائمِ الطاولةِ قليلاً،

أ. هل تزدادُ القوّةُ العموديةُ أم تنقص؟

ب. هل تزدادُ قوّةُ الاحتكاكِ الساكنِ أم تنقص؟

28. أيُّهما أكبر: المقدارُ الأقصى لقوّةِ الاحتكاكِ السكونيّ، أم قوّةُ الاحتكاكِ الحركيّ؟

29. يستقرُّ كيسٌ من الخضراوات كتلتُه 5.4 Kg في حالةِ اتِّزانٍ على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ 15° مع الأفقيّ. جِدْ مقدارَ القوّةِ العموديةِ المؤثِّرةِ في الكيس.

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

30. تخيَّلْ رائدَ فضاءٍ عند نقطةٍ واقعةٍ في منتصفِ المسافةِ بين نجمتَيْنِ متساويتَيْنِ في الكتلة. كم يزنُ رائدُ الفضاءِ، إذا أهملْنا تأثيرَ كلِّ الأجسامِ الفضائيةِ الأخرى؟

31. شخص يحملُ كرةً بيدِه،

أ. حدِّدْ جميعَ القوى المؤثِّرةِ في الكرةِ، وردَّ فعل كلّ منها.

ب. إذا سقطَتِ الكرةُ من اليدِ، ما القوَّةُ المؤثِّرةُ عليها أثناء سقوطِها؟ حدِّدْ ردَّ الفعلِ في هذه الحالة. (أهملْ مقاومةَ الهواء)

32. علِّلْ كيفَ أنَّ دفعَ الكتابِ إلى أسفلَ أثناءَ تحريكِه على طاولةٍ يؤدّي إلى زيادةِ قوَّةِ الاحتكاكِ بين الكتابِ والطاولة.

33. حلِّلِ السرعةَ والتعجيلَ لصخرةٍ لدى سقوطِها في الماءِ، مُفترِضًا أنَّ مقدارَ مقاومةِ الماءِ يزدادُ مع ازديادِ سرعةِ الصخرة.

34. عندَ سقوطِ مظلّيٍّ من طائرةٍ تزدادُ سرعته. ماذا يحدثُ لتعجيلِه؟ كم يصبحُ تعجيلُ المظلّيِّ بعدَ أن يصلَ إلى سرعة المنتهى؟

مسائلُ تطبيقية

35. وُضعَتْ ساعةُ حائطٍ كتلتُها 95 kg على سطحٍ أفقيّ. يلزمنا قوَّةُ دفعٍ أفقيةٌ مقدارُها 650 N للبدءِ بتحريكِ الساعةِ، بينما يلزمُنا قوَّةُ دفعٍ أفقيةٌ مقدارُها 560 N لإبقاءِ حركتِها منتظمة.

جدْ مُعاملي الاحتكاكِ السكونيِّ μ_s والحركيِّ μ_k بين الساعةِ والسطح.

36. ينزلقُ صندوقٌ بتعجيلٍ مقدارُه $1.20\ m/s^2$ على منحدرٍ يميلُ بزاويةِ 30.0^o مع الأفقي. جدْ معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين المنحدرِ والصندوق.

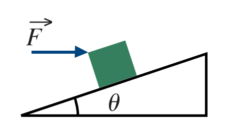
الشكل 18-3

37. يُسحبُ قالبٌ كتلتُهُ 4.00 kg على سقفٍ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ ثابتةٍ مقدارُها 85.0 N تميلُ بزاويةِ 55.0^o مع الأفقي، كما في **الشكل 3-18**. يتسارعُ القالبُ في اتّجاهِ اليمينِ بتعجيلٍ مقدارُه $6.00\ m/s^2$. جِدْ معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين السقفِ والقالب.

38. يجرُّ بائعٌ صندوقًا في ممرٍّ بوساطةِ حبل. يشدُّ البائعُ بقوَّةٍ مقدارُها 185.0 N بزاويةِ 25.0^o مع الأفقي، إذا كانَت كتلةُ الصندوقِ 35.0 kg ومُعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَه وبينَ الأرض 0.450، احسبْ تعجيلَ الصندوق.

39. يُسحبُ صندوقُ شحنٍ وزنُه 925 N على أرضٍ أفقيَّةٍ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ مقدارُها 325 N وزاوية 25^o فوقَ الأفقي. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الصندوقِ والأرض 0.25، فما مقدارُ تعجيلِ الصندوق؟

مراجعةٌ عامة



الشكل 19-3

40. وُضعَتْ كتلةُ 6.0 kg بحالةِ اتِّزانٍ على سطحٍ مائلٍ بزاويةِ 30° فوقَ الأفقيّ، كما يظهرُ في **الشكل 3-19**، وأُخضِعَتْ لتأثيرِ قوَّةٍ أفقيةٍ $\vec{F}$. جِدْ مقدارَ القوَّةِ $\vec{F}$ ومقدارَ القوَّةِ العموديةِ على الكتلة. (أهملِ الاحتكاك)

41. يبدأُ جسمٌ كتلتُهُ 2.0 kg بالانزلاقِ من السكونِ على سطحٍ مائلٍ، ويقطعُ مسافةَ 8.0×10^{-1} m خلالَ 0.50 s. ما محصِّلةُ القوى التي تؤثِّرُ في الجسمِ أثناءَ انزلاقِهِ على السطحِ المائل؟

42. أُفلِتَ كتابٌ كتلتُهُ 2.26 kg من ارتفاعِ 1.5 m.

أ. ما تعجيلُ الكتاب؟

ب. ما وزنُهُ بوحدةِ النيوتن؟

43. يُرفَعُ دلوُ ماءٍ كتلتُهُ 5.0 kg من بئرٍ بوساطةِ حبل. إذا كان تعجيلُ الدلوِ $3.0\ m/s^2$ إلى أعلى، جدِ القوَّةَ التي يؤثِّرُ بها الحبلُ في الدلو.

44. وُضعَتْ حقيبةٌ كتلتُها 3.46 kg في حالةِ سكونٍ على سطحٍ مستوٍ،

أ. جدْ تعجيلَ الحقيبة.

ب. ما وزنُ الحقيبةِ بالنيوتن؟

45. يتحرَّكُ قاربٌ تحتَ تأثيرِ قوَّتَيْن: قوَّةِ المُحرِّكِ إلى الأمامِ ومقدارُها 2.10×10^3 N، وقوَّةِ مقاومةِ المياهِ ومقدارُها 1.80×10^3 N.

أ. ما تعجيلُ القاربِ إذا كانت كتلتُه 1200 kg؟

ب. إذا بدأ القاربُ حركتَه من السكونِ، فما المسافةُ التي يقطعُها خلال 12 s؟

ج. كم ستكونُ سرعةُ القاربِ بعد 12 s؟

46. تنزلقُ بنت على مزلاجٍ، إلى أسفلِ منحدرٍ فيَصلُ إلى الأرضِ بسرعة 7.0 m/s. إذا كانَ مُعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ

المزلاج والمستوي الأفقيّ الثلجيّ 0.050، ووزنُ البنتِ والمزلاجِ معًا 645 N، فما المسافةُ التي تقطعُها البنتُ على الأرضِ المستويةِ قبل توقُّفِها؟

47. يُدفعُ صندوقُ كتبٍ وزنُهُ 319 N تحتَ تأثيرِ قوّةٍ مقدارُها 485 N وتميلُ إلى أسفل بزاويةِ 35^o تحت الأفقي.

أ. إذا كان مُعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ μ_k بينَ الصندوقِ والأرضِ 0.57، فكم يلزمُ من الزمنِ لتحريك الصندوقِ مسافةَ 4.00 m بدءًا من السكون؟

ب. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ μ_k بين الصندوقِ والأرضِ 0.75، فكم يلزمُ من الزمنِ لتحريك الصندوقِ مسافةَ 4.00 m بدءًا من السكون؟

48. قالبٌ كتلتُه 3.00 kg يبدأ بالحركةِ من السكونِ من أعلى منحدرٍ يميلُ بزاويةِ 30^o فيقطعُ مسافةُ 2.00 m خلال 1.50 s بتعجيلٍ ثابت. جدْ:

أ. مقدارَ تعجيلِ القالب.

ب. معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ القالبِ والمنحدر.

ج. مقدارَ قوّةِ الاحتكاكِ المؤثّرةِ في القالب.

د. سرعةَ القالبِ بعدَ قطعِه مسافة 2.00 m.

49. قُذِفَ قرصُ لعبةِ الهوكي على سطحِ بحيرةٍ متجمِّدة، بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 12.0 m/s. بعد 5.0 s أصبحتْ سرعةُ القرصِ 6.0 m/s.

أ. ما متوسِّطُ تعجيلِ القرص؟

ب. ما مُعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين القرصِ والثلج؟

50. تنفتحُ مظلّةٌ عند مؤخّرِ سيّارةٍ وزنُها 8820 N في نهايةِ فترةِ تسارعٍ تكونُ عندها سرعةُ السيّارة 35 m/s. ما قوةُ الإعاقةِ التي تطبِّقُها المظلّةُ بحيثُ تتمكّنُ السيارةُ من التوقُّفِ بعدَ قطعِ مسافةِ 1100 m؟

المشاريع والتقارير

1. توقَّعْ ما سوفَ يحدثُ في هذه التجربة للتحقُّق من قوانينِ الحركة. تقومُ أنتَ وزميلٌ لك بحمل ميزانَيْن (لقياس وزن جسم الإنسان) ظهرًا إلى ظهرٍ بحيثُ يستطيعُ كلّ منكما قراءةَ ميزانِه، ثمَّ يبدأ بالضغطِ كلٌّ منكما باتِّجاهِ الآخر. سجِّلا قراءةَ كلِّ ميزانٍ في اللحظةِ نفسِها. أيٌّ من قوانينِ نيوتن حقَّقْتما من خلالِ هذه التجربة؟

2. قدِّمْ بحثًا حولَ العلاقةِ بينَ إنجازاتِ العلماءِ: أنطوان لافوازيه وإسحق نيوتن وألبيرت أينشتاين، وبينَ دراسةِ الكتلة. أيُّهم، في رأيك، قال:

أ. إن كتلةَ الجسمِ هي مقياسٌ لكمِّيةِ المادَّةِ فيه.

ب. إن كتلةَ الجسمِ هي مقاومتُهُ لتغيُّرِ الحركة.

ج. إن كتلةَ جسمٍ معيَّنٍ تعتمدُ على سرعتِه.

3. تخيَّلْ طائرةً مع مجموعةٍ من الأدواتِ معلَّقةٍ في داخلِها مثل: بندولٍ كتلتُهُ 100 kg معلَّقٍ بقبانٍ حلزوني ومربًى مائيٍّ مغلقٍ نصفِ مليءٍ بالماء. ماذا يحدثُ لكلٍّ من هذه الأدواتِ عندَ إقلاعِ الطائرة، وانعطافِها وتباطؤها حتى تحطّ؟ اختبرْ صحَّةَ إجاباتِكَ بتمثيلِ التجارب، إذا أمكن، في المصاعدِ أو السيّارات، مستخدمًا أدواتٍ مماثلة. اكتبْ تقريرًا تقارنُ فيهِ بين توقُّعاتِكَ وخبراتِك.

4. قمْ مع مجموعةٍ صغيرة من زملائِك بالتحقُّقِ من صحَّةِ النصوصِ التالية. استعملْ رسمًا لتوضيحِ إجابتك.

أ. لا يمكنُ للصواريخِ أن تُطلقَ في الفضاءِ لعدمِ وجودِ مادَّة يندفعُ باتِّجاهِها الغازُ الخارجِ من الصاروخ.

ب. يمكنُ للصواريخِ الانطلاقُ لأنَّ الغازَ المندفعَ منها يؤمِّنُ قوَّةً غيرَ متعادلة.

ج. قوَّةُ الفعلِ وردُّ الفعلِ متساويتان في المقدارِ ومتعاكستان في الاتِّجاه. لذلك تتعادل القوَّتانِ ولا يمكنُ للصاروخِ أن يتحرَّك.

تقويمُ الفصل 3

اختيارٌ من متعدِّدٍ

استخدمِ النصَّ للإجابة عن السؤالَيْن 1 و 2.

وُضعَ قالبان كتلتاهما m_1 و m_2 جنبًا إلى جنب على طاولة أفقيّةٍ ملساءَ بحيث يكونُ القالبُ الأوّلُ (ذو الكتلة m_1) إلى يسارِ القالبِ الثاني (ذي الكتلة m_2). طُبِّقَتْ قوَّةٌ أفقيّةٌ ثابتةٌ F على القالبِ الأوّلِ باتّجاهِ اليمين.

1. ما تعجيلُ القالبَيْنِ؟

أ. $a = \frac{F}{m_1}$

ب. $a = \frac{F}{m_2}$

ج. $a = \frac{F}{m_1 + m_2}$

د. $a = \frac{F}{(m_1)(m_2)}$

2. ما القوَّةُ الأفقيّةُ التي تؤثِّرُ في القالبِ الثاني m_2؟

أ. $m_1 a$

ب. $m_2 a$

ج. $(m_1 + m_2)a$

د. $m_1\, m_2 a$

3. يُسحبُ صندوقٌ إلى اليمينِ (محور x الموجب) بقوَّةٍ مقدارُها 82.0 N، وقوَّةٍ مقدارُها 115 N باتّجاهِ اليسار، وقوَّةٍ مقدارُها 565 N إلى أعلى، وقوَّةٍ مقدارُها 236 N إلى أسفل. ما مقدارُ واتّجاهُ محصِّلة القوى المؤثِّرةِ في الصندوق؟

أ. 3.30 N بزاويةِ 96^o مع المحورِ ox، باتّجاهِ عكس عقاربِ الساعة.

ب. 3.30 N بزاويةِ 6^o مع المحورِ ox، باتّجاهِ عكس عقاربِ الساعة.

ج. 3.30×10^2 N بزاويةِ 96^o مع المحورِ ox، باتّجاهِ عكسِ عقاربِ الساعة.

د. 3.30×10^2 N بزاويةِ 6^o مع المحورِ ox، باتّجاهِ عكسِ عقاربِ الساعة.

4. قُذفَتْ كرةٌ كتلتُها m_b في الهواءِ كما في الرسم أدناه. ما القوَّةُ التي تؤثِّرُ بها الكرةُ في الأرض.

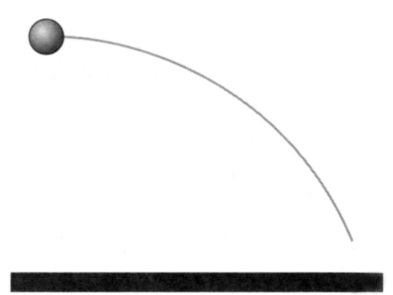
أ. $m_b g$ إلى الأسفل

ب. $m_b g$ إلى الأعلى

ج. $m_E g$ إلى الأسفل

د. $m_E g$ إلى الأعلى

حيث m_b كتلةُ الكرةِ و m_E كتلةُ الأرض.



5. تبلغُ كتلةُ قطارٍ لشحنِ البضائعِ 1.5×10^7 kg. إذا كان محركُ القطارِ تطبِّقُ قوَّةً ثابتةً مقدارُها 7.5×10^5 N، فكم يلزمُ من الوقتِ لرفعِ سرعةِ القطارِ من حالةِ السكونِ إلى 85 km/h؟ (أهملْ قوى الاحتكاك)

أ. 4.7×10^2 s

ب. 4.7 s

ج. 5.0×10^{-2} s

د. 5.0×10^4 s

استعملِ النصَّ للإجابةِ عن السؤالَيْن 6 و 7.

سائقُ شاحنةٍ يضغطُ على المكابحِ فيوقفُ الشاحنةَ خلالَ مسافة Δx.

6. إذا تضاعفَتْ كتلةُ الشاحنة، فما المسافةُ التي تقطعُها بدلالةِ Δx؟ (ملاحظة: إنَّ ازديادَ كتلةِ الشاحنةِ يؤدّي إلى ازديادِ قوَّةِ ردِّ فعل الأرض)

أ. $\Delta x/4$

ب. Δx

ج. $2\Delta x$

د. $4\Delta x$

7. إذا كانَتِ السرعةُ الابتدائيّةُ للشاحنةِ نصفَ سرعتِها الابتدائيَّةِ الأولى، فكم تكونُ المسافةُ التي تقطعُها الشاحنة؟

أ. $\Delta x/4$

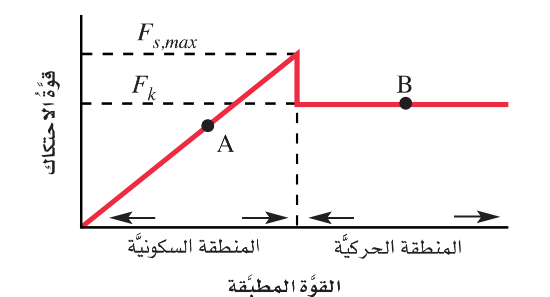
ب. Δx

ج. $2\Delta x$

د. $4\Delta x$

استعملِ الرسمَ أدناه للإجابةِ عن السؤالَيْن 8 و 9.

يُظهرُ الرسمُ العلاقةَ بين القوَّةِ المطبَّقةِ وقوَّةِ الاحتكاك.



8. ما العلاقةُ بينَ القوّتَيْن عندَ النقطة A؟

أ. $F_s = F_{\text{المطبَّقة}}$

ب. $F_k = F_{\text{المطبَّقة}}$

ج. $F_s < F_{\text{المطبَّقة}}$

د. $F_k > F_{\text{المطبَّقة}}$

9. ما العلاقةُ بينَ القوّتَيْن عندَ النقطة B؟

أ. $F_{s,\,max} = F_k$

ب. $F_k > F_{s,\,max}$

ج. $F_k > F_{\text{المطبَّقة}}$

د. $F_k < F_{\text{المطبَّقة}}$

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

استعملِ المعلوماتِ التاليةَ للإجابةِ عن الأسئلة 10-12.

أُلقيَت كرةٌ كتلتُها 3.00 kg من السكونِ من سطحِ مبنًى ارتفاعُه 176.4 m. تتعرَّضُ الكرةُ أثناءَ سقوطِها لقوّةِ مقاومةِ هواءٍ مقدارُها 12.0 N.

10. ما الزمنُ الذي يستغرقُه وصولُ الكرةِ إلى الأرض؟

11. على أيِّ مسافةٍ من المبنى ترتطمُ الكرةُ بالأرض؟

12. ما مقدارُ سرعةِ الكرةِ عندَ وصولِها إلى الأرض؟

استعملِ النصَّ التالي للإجابةِ عن الأسئلة 13-15.

وُضِعَ قالبٌ خشبيٌّ على السطحِ الأفقيِّ لصندوقِ شاحنةٍ طويلة. حدِّدْ حركةَ القالبِ بالنسبةِ إلى الأرض، وحركتَه بالنسبةِ إلى سطحِ الصندوق، وحدِّدْ إن كان القالبُ سيصطدمُ بمُقدَّمِ الصندوقِ أو مؤخره أو سيبقى ساكنًا. (أهملْ قوى الاحتكاك)

13. تتسارعُ الشاحنةُ إلى اليمينِ بدءًا من السكون.

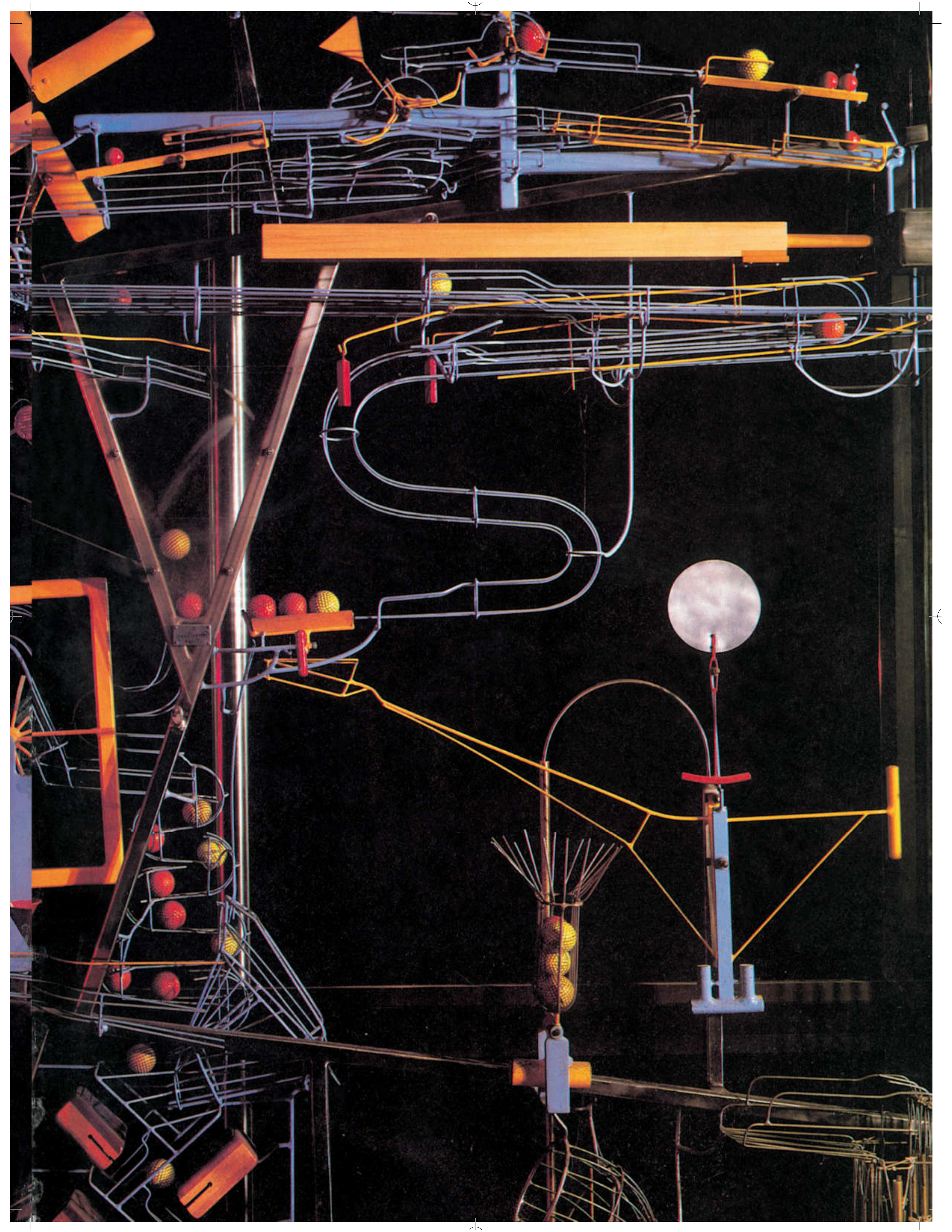
14. القالبُ ساكنٌ على سطحِ الصندوقِ بينما تتحرَّكُ الشاحنةُ إلى اليمينِ بسرعةٍ ثابتة.

15. الشاحنةُ تتباطأ لكي تتوقَّف.

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلة

16. يشدُّ تلميذٌ حبلاً مربوطًا بزلاّجةٍ خشبيَّة كتلتُها 10.0 kg تنزلقُ على الثلج. يشدُّ التلميذُ بقوَّة 15.0 N بزاوية 45.0° مع الأفقيّ. إذا كانَت μ_k بينَ الزلاّجةِ والثلجِ 0.040، فكم يكونُ تعجيلُ الزلاّجة؟

17. يمكنك منعُ كتابٍ من السقوطِ بالضغطِ عليه أفقيًّا باتِّجاهِ الجدار. ارسمْ مخطَّطَ قوى تبيِّنُ عليه القوى المؤثِّرةَ في الكتاب. كيف تجتمعُ هذه القُوى بحيثُ تكونُ محصِّلتها صفرًا؟ هل تختلفُ القوَّةُ الأفقيَّةُ التي تطبِّقُها باختلافِ نوعِ الكتاب؟ صمِّمْ سلسلةً من التجاربِ لتختبرَ إجابتَك. حدِّدِ القياساتِ الضروريَّةَ والأدواتِ التي تلزمُك.



الفصــــــل 4

الشغلُ والطاقةُ والقدرة
Work and Energy



تسمّى هذه الآلةُ الغريبةُ «التصميمَ الحركيَّ الصوتي». ترفع الكراتُ إلى نقطةٍ مرتفعةٍ من المسارِ المنحني الأزرق. وعندَ انحدارِها، تديرُ معها رافعاتٍ وترتطمُ بأغشيةٍ مطّاطيَّةٍ فترفعُها. الطاقةُ التي تكتسبُها كلُّ كرةٍ، سواءً المرتبطةُ بحركتِها، أو بموقعِها فوقَ الأرض، أو بطاقتِها الميكانيكيَّةِ المفقودةِ نتيجةً للاحتكاكِ، تتغيَّرُ بطريقةٍ تبقى معها الطاقةُ الكلّيَّةُ للنظامِ محفوظة.

ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستتعلَّمُ في هذا الفصل، موضوعاتِ الشغلِ والأشكالِ المختلفةِ للطاقةِ الميكانيكيَّة. ستتعلّمُ أيضًا الطاقةَ الحركيَّةَ المرتبطةَ بالحركةِ والطاقةَ الكامنةَ المرتبطةَ بموقعِ الجسم.

ما أهميَّتُهُ

هناك علاقةٌ بين الشغلِ والطاقةِ والقدرة. تتميَّزُ الآلاتُ التي نستعملُها يوميًّا، كالمحرّكاتِ مثلاً، بكمّيَّةِ الشغلِ التي يمكنُ أن تبذلَها وبقدرتِها على بذلِ ذلك الشغلِ في زمنٍ معيَّن.

محتوى الفصل 4

القسم 1-4

الشغل
Work

1-4 أهدافُ القسم

- يفرِّقُ بينَ التعريفِ العلميِّ والتعريفِ الشائعِ للشغل.
- يعرِّفُ علاقةَ الشغل بالقوة والإزاحة.
- يحدِّدُ مجالاتِ إنجازِ شغلٍ في حالاتٍ مختلفة.
- يحسبُ الشغلَ الكلّيَّ المبذولَ عندَ وجودِ عدَّةِ قوى مؤثِّرةٍ في جسمٍ معيَّن.

الشغل

كمِّيَّةٌ عدديةٌ تساوي حاصلَ ضربِ مقدارِ مركبةِ القوَّةِ (في اتجاهِ الإزاحةِ) في الإزاحة.

تعريفُ الشغل

إنَّ معظمَ المصطلحاتِ التي صادفتْكَ في هذا الكتابِ حتى الآنَ لها معانٍ فيزيائيةٌ قريبةٌ من معانيها في الحياةِ اليومية. فالشغلُ في المصطلحِ اليوميِّ يعني القيامَ بعملٍ يتطلَّبُ جهدًا فعليًّا أو فكريًّا، لكن في الفيزياءِ، فإن الشغلَ يحملُ معنىً مختلفًا ومميزًا. لنأخذِ الحالاتِ التالية:

- متعلِّمٌ يحملُ، لعدَّةِ دقائقَ، كرسيًّا ثقيلاً بيدَيْنِ ممدودتَيْن.
- متعلِّمٌ يحملُ دلوَ ماءٍ ويسيرُ بسرعةٍ ثابتة.

قد يدهشكَ، بحسبِ التعريفِ العلميِّ للشغل، أن حملَ الكرسيِّ أو الدلوِ لا يحقِّقُ أيَّ شغلٍ عليهما، علمًا أنَّ الحالتَيْنِ استدعتا جهدًا جسديًّا. سنتطرَّقُ إلى هذه الأمثلةِ لاحقًا.

علاقةُ الشغلِ بالقوَّةِ والإزاحة

افترضْ أنَّ الوَقودَ قد نَفَدَ من سيّارتِك، شأنُ السيارةِ الظاهرةِ في **الشكل 1-4**، وعليكَ دفعُها إلى محطَّةِ الوقود. إذا دفعْتَ السيّارةَ بقوَّةٍ ثابتةٍ، فإنَّ **الشغلَ** work الذي قمتَ به أثناءَ دفعِكَ لها يساوي مقدارَ القوَّةِ F مضروبًا في مقدارِ إزاحةِ السيّارة. وباستعمالِ d بدلاً من Δx لترميزِ الإزاحةِ، يمكنُنا تعريفُ الشغلِ كما يلي:

$$W = Fd$$

فلا شغلَ لقوَّةٍ على جسمٍ إلا إذا تحرَّكَ الجسمُ بفعلِ هذه القوَّة. مجرَّدُ إخضاعِ الجسمِ لقوَّةٍ معيَّنةٍ لا يؤدّي إلى شغلٍ، لذلك، لم يقمِ المتعلِّمُ بشغلٍ على الكرسيِّ عندما حملَه لأنه لم يحرِّكْهُ، بالرغمِ من تطبيقِ قوَّةٍ عليه. وسببُ التعبِ الذي يُحِسُّ به المتعلِّمُ في يدَيْهِ ينتجُ من إزاحاتٍ عضليةٍ صغيرةٍ وكثيرةٍ في اليدين. لذلك يكونُ الشغلُ قد أُنجِزَ داخلَ جسمِ المتعلِّم، وليس على الكرسيّ.

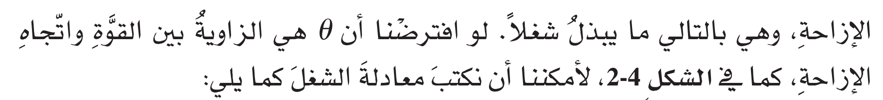


الشكل 1-4
يدفعُ هذا الرجلُ سيّارةً بقوَّةٍ ثابتةٍ متَّجهةٍ إلى اليسار. لذلك، يكونُ الشغلُ المبذولُ على السيارةِ مساويًا لمقدارِ القوَّةِ مضروبًا في إزاحةِ السيّارة.

يتمُّ الشغلُ فقط عندما يكونُ للقوَّةِ مركَّبةٌ متوازيةٌ مع الإزاحة

عندَما يكونُ اتّجاهُ القوَّةِ المطبَّقةِ واتّجاهُ إزاحةِ الجسمِ مختلفَيْن، فإنَّ مركَّبةَ القوَّةِ في اتّجاهِ الإزاحةِ هي وحدَها التي تقومُ بشغل. أما مركَّبةُ القوَّةِ المتعامدةِ مع الإزاحةِ فإنها لا تقومُ بأيِّ شغل.

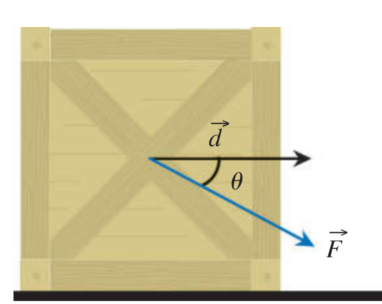
تصوَّرْ، مثالاً على ذلك، عمليَّةَ دفعِ صندوقٍ على الأرض. إذا كانَ اتّجاهُ القوَّةِ التي تطبِّقُها أفقيًّا، يكونُ كلُّ جهدِك محرِّكًا للصندوق. لكن إذا كانَ اتّجاهُ القوَّةِ غيرَ أفقيٍّ، تكون المركَّبةُ الأفقيةُ للقوَّةِ هي وحدَها مسبِّبَ


الإزاحةِ، وهي بالتالي ما يبذلُ شغلاً. لو افترضْنا أن θ هي الزاويةُ بين القوَّةِ واتّجاهِ الإزاحةِ، كما في **الشكل 2-4**، لأمكننا أن نكتبَ معادلةَ الشغلَ كما يلي:

$$W = Fd\,(\cos\,\theta)$$

إذا كانَت $\theta = 0°$ عندئذ $\cos 0° = 1$، وبالتالي $W = Fd$. هذا هو تعريفُ الشغلِ المعطى سابقًا. لكن إذا كانَت $\theta = 90°$، عندئذٍ $\cos 90° = 0$، وبالتالي $W = 0$. لذلك، لا يكونُ حملُ المتعلِّمِ لدلوِ الماءِ أثناءَ السيرِ به أفقيًّا بسرعةٍ ثابتةٍ قد بذلَ أيَّ شغلٍ على الدلو، لأن القوَّةَ المتَّجهةَ إلى أعلى والتي تقومُ بحملِ الدلوِ متعامدةٌ مع إزاحتِهِ، لذلك لا تقومُ بأيِّ شغلٍ عليه.

أخيرًا، إذا أثَّرَتْ عدَّةُ قوى ثابتةٍ في جسمٍ معيَّن، يكونُ بإمكانِنا إيجادُ الشغلِ الكلّيِّ المبذولِ على الجسمِ بعد أن نجدَ القوَّةَ المحصِّلةَ.



الشكل 2-4
الشغلُ المبذولُ على الصندوقِ يساوي القوةَ ضربَ الإزاحةِ ضربَ جيبِ التمامِ للزاويةِ بينهما.

الشغلُ الكليُّ المبذولُ بقوَّةٍ محصِّلةٍ ثابتة

$$W_{\text{كلّي}} = F_{\text{المحصلة}}\,d\,(\cos\,\theta)$$

الشغلُ الكلّيّ = القوَّة المحصِّلة × الإزاحة × جيب تمام الزاوية

لذلك يكونُ بُعدُ الشغلِ حاصلَ ضربِ بُعدِ القوَّةِ في بُعدِ الطول. إنَّ وَحدةَ الشغلِ في النظامِ الدوليّ (SI) هي النيوتن مضروبًا بالمتر (N•m)، أو الجول (J).

إن الشغلَ المبذولَ أثناءَ رفعِ تفّاحةٍ من وسَطِكَ إلى أعلى رأسِكَ هو حوالي 1 J.

هل تعلم؟

سُمِّيَتْ وحدةُ الجولِ باسمِ العالِمِ البريطاني جايمس بريسكوت جول (1818-1889) تكريمًا له، لأنه قام بمساهماتٍ جمَّةٍ في مجالاتِ الطاقةِ والحرارةِ والكهرباء.

مثال 4 (أ)

الشغل

المسألة

ما مقدارُ الشغلِ المبذولِ على مكنسةٍ كهربائيةٍ تُجَرُّ مسافةَ 3.0 m بقوَّةٍ مقدارُها 50.0 N وبزاويةِ 30.0° فوقَ الأفقيّ؟

الحــل

المعطى: $F = 50.0\ \text{N}$ $\quad \theta = 30.0°$ $\quad d = 3.0\ \text{m}$

المجهول: $W = ?$

أستعملُ معادلةَ الشغلِ الكلّي:

$$W = Fd(\cos\,\theta)$$

فتكونُ المركَّبةُ الأفقيةُ للقوَّةِ هي وحدَها التي تبذلُ شغلاً على المكنسة.

$$W = (50.0\ \text{N})(3.0\ \text{m})\,(\cos 30.0°)$$

$$\boxed{W = 130\ \text{J}}$$

تطبيق 4 (أ)

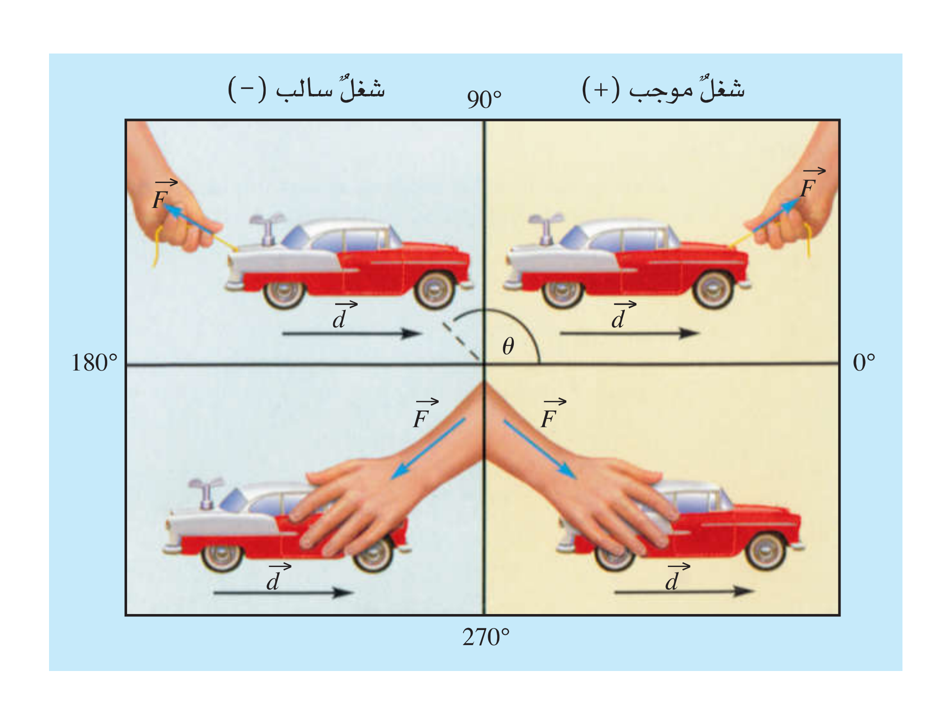
الشغل

1. زورقٌ للقَطْرِ يسحبُ سفينةً في أحدِ الموانئ، بمحصِّلةِ قوَّةٍ أفقيةٍ ثابتةٍ مقدارُها 5.00×10^3 N، ما يؤدّي إلى تحريكِ السفينةِ في الميناء. ما مقدارُ الشغلِ المبذولِ على السفينةِ إذا كانتِ المسافةُ التي قطعتْها 3.00 km؟
2. يرفعُ رياضيٌّ مجموعةَ أوزانٍ مسافةً مقدارُها 2.00 m. اذا كان مقدارُ القوَّةِ المحصِّلةِ والمؤثِّرةِ في الأوزانِ يساوي 350 N، فما مقدارُ الشغلِ الكلّيِّ المبذولِ على الأوزان؟
3. يدفعُ شوانُ عربةً في سوبرماركت بقوةٍ مقدارُها 35 N وبزاويةِ 25° تحت الأفقيّ. جِدِ الشغلَ الذي يقومُ به شوانُ على العربةِ بعد قطعهِ مسافة 50.0 m.
4. إلى أيِّ علوٍّ ترتفعُ تفّاحةٌ كتلتُها 180 g إذا كانَ الشغلُ المبذولُ عليها 2.0 J؟

إشارةُ الشغل مهمَّة

الشغلُ كمّيّةٌ عدديّةٌ قد تكونُ موجبةً أو سالبة، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 4-3**. يكونُ الشغلُ موجبًا عندما تكونُ إحدى مُركّباتِ القوَّةِ في اتّجاهِ الإزاحةِ نفسِه. عندما تَرفعُ علبةً، مثلاً، فإنَّ الشغلَ الذي تبذُلُهُ يكونُ موجبًا لأنَّ اتّجاهَ القوَّةِ إلى أعلى هو اتّجاهُ الإزاحةِ نفسُه. يكونُ الشغلُ سالبًا عندما تكونُ إحدى مركّباتِ القوَّةِ بعكسِ اتّجاهِ الإزاحة. على سبيلِ المثال، إنَّ قوَّةَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين علبةٍ منزلقةٍ وبينَ الأرضِ تكونُ معاكسةً لإزاحةِ العلبةِ، وبالتالي يكونُ الشغلُ سالبًا. إنَّ استعمالاً دقيقًا لمعادلةِ الشغلِ يعطي الإشارةَ الصحيحةَ للجوابِ، مع مراعاةِ إشارةِ $\cos \theta$ تبعًا لقيمةِ θ .

إذا انحصرَ تأثيرُ الشغلِ في جسمٍ معيَّنٍ في تغيُّرِ سرعتِهِ فقط، تكونُ إشارةُ الشغلِ مؤشِّرًا على تعجيلِهِ (الشغلُ موجب)، أو تباطئِه (الشغلُ سالب).



الشكل 4-3

بحسبِ زاويةِ التطبيق، يمكنُ لقوةٍ مطبَّقةٍ أن تخفِّفَ من سرعةِ سيّارةٍ متحرِّكةٍ (يسارَ الصورة) فيكونُ الشغلُ المبذولُ على السيّارةِ سالبًا، أو أن تزيدَ من السرعةِ (يمينَ الصورة) فيكونُ الشغلُ المبذولُ على السيّارةِ موجبًا.

مراجعةُ القسم 1-4

1. هل الشغلُ المبذولُ على الجسمِ الثاني، في الحالاتِ التالية، موجبٌ أم سالبٌ؟

أ. تطبّقُ الطريقُ قوةَ احتكاكٍ على سيّارةٍ مسرعةٍ أثناءَ محاولتِها التوقُّف.

ب. يطبّقُ حبلٌ معلقٌ بدلوٍ قوةً على الدلوِ أثناءَ رفعِ الولدِ من بئر.

ج. يطبّقُ الهواءُ قوةً على مظلَّةٍ أثناءَ هبوطِ المظليِّ إلى الأرض.

2. إذا دفعَ جارُك قطّاعةَ عشبٍ أربعةَ أضعافِ المسافةِ التي دفعتَها أنت، لكن بنصفِ مقدارِ قوَّتِك، فمن منكما يكونُ قد بذلَ شغلاً أكبر، وما نسبةُ شغلِكُما؟

3. يدفعُ عاملٌ صندوقًا وزنُه 1.50×10^3 N بقوَّةٍ أفقيةٍ مقدارُها 345 N إلى مسافةِ 24.0 m. افترضْ أنَّ مُعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الصندوقِ والأرضِ هو 0.220.

أ. ما مقدارُ الشغلِ المبذولِ من العاملِ على الصندوق؟

ب. ما مقدارُ الشغلِ المبذولِ من الأرضِ على الصندوق؟

ج. ما مقدارُ الشغلِ الكلّيّ المبذولِ على الصندوق؟

4. تُرفعُ كرةٌ كتلتُها 0.075 kg إلى مستوى يعلو 1.32 m عن سطحِ الأرضِ بوساطةِ حزامِ نقلٍ رأسيّ. هناك قوةُ احتكاكٍ ثابتةٌ تؤثِّرُ في الكرةِ مقدارُها 0.350 N وتعملُ بعكسِ اتّجاهِ حركةِ الحزام. ما مقدارُ الشغلِ الكلّيِّ المبذولِ على الكرة؟

5. **تفكيرٌ ناقد** بيّنْ أيُّ المعنيين للشغلِ: المعنى الشائعُ أم المعنى الفيزيائيُّ، هو المستعملُ في كلٍّ من المقولاتِ التالية:

أ. يسابقُ فرهاد الوقتَ لإنجازِ عملِه في الوقتِ المحدَّد.

ب. كان على هانا أن تقومَ بشغلِ واجبَها المنزليّ قبل أن تأوي إلى الفراش.

ج. قامَ أرام بشغلٍ كبيرٍ لنقلِ المياهِ إلى أعلى التلَّة.

6. **تفكيرٌ ناقد** بيّن هل بُذلَ شغلٌ في كلٍّ من الأمثلةِ التالية:

أ. محرِّكُ قطارٍ يسحبُ عربةً مقطورةً كانتْ متوقِّفة.

ب. يتساوى الفريقانِ في لعبةِ شدِّ الحبل.

ج. رافعةٌ ترفعُ سيّارة.

القسم 2-4

الطاقة
Energy

2-4 أهدافُ القسم

- يعدِّدُ أشكالاً مختلفةً للطاقة.
- يحسُبُ الطاقةَ الحركيَّةَ لجسمٍ معيَّن.
- يطبِّقُ علاقةَ الشغل – الطاقةِ الحركيَّة في حلِّ المسائل.
- يميزُ بينَ الطاقةِ الحركيةِ والطاقةِ الكامنة.
- يصنِّفُ أنواعًا مختلفةً من الطاقةِ الكامنة.
- يحسُبُ الطاقةَ الكامنةَ لجسمٍ معيَّنٍ بدلالةِ موقعه.

الطاقةُ الحركيَّة

طاقةُ الجسمِ الناتجةُ من حركتِه.

الجول

وحدةُ قياسِ الشغلِ والطاقةِ في النظامِ الدوليِّ SI.

الطاقةُ الحركيَّة

الطاقةُ الحركيَّة kinetic energy – كما يدُلُّ اسمُها – تقترنُ دائمًا بالأجسامِ المتحرِّكة، وتعتمدُ على كتلةِ الجسمِ وسرعتِه. تُعرَّفُ الطاقةُ الحركيَّةِ لجسمٍ كتلتُه m يتحرَّكُ بسرعةٍ مقدارُها v كالتالي:

$$KE = \frac{1}{2} mv^2$$

الطاقةُ الحركيَّة = $\frac{1}{2}$ × **الكتلة** × (**السرعة**)^2

الطاقةُ الحركيَّةِ كمِّيةٌ قياسيةٌ، وحدةُ قياسِها، ووحدةُ القياسِ لأشكالِ الطاقةِ كلِّها في النظامِ الدوليّ (SI) هي **الجول** joule. تذكَّرْ أنَّ الجولَ هو وحدةُ القياسِ الأساسيةُ للشغل.

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \times (1 \text{ m/s})^2 = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

تعتمدُ الطاقةُ الحركيَّةُ على كلٍّ من كتلةِ الجسمِ وسرعتِه. لو أنَّ كرةَ بولينغ وكرةَ قدمٍ تتحرَّكانِ بالسرعةِ نفسِها، فأيُّ منهما كانَ لديها طاقةٌ حركيَّةٌ أكبر؟ قد تظنُّ أنَّ للكرتيَنِ الطاقةَ الحركيَّةِ نفسَها، لأنهما تحرَّكتا بالسرعةِ نفسِها، لكنَّ لكرةِ البولينغِ طاقةً حركيَّةً أكبر، لأنَّ كتلتَها أكبرُ من كتلةِ كرةِ القدم.

مثال 4 (ب)

الطاقةُ الحركيَّة

المسألة

تتحرَّكُ كرةُ بولينغ كتلتُها 7.00 Kg بسرعةٍ مقدارُها 3.00 m/s. ما الطاقةُ الحركيَّةُ للكرة؟ كم يجبُ أن تكونَ سرعةُ كرةِ طاولة، كتلتُها 2.45 g، ليكونَ لها طاقةٌ حركيَّةٌ مساويةٌ لكرةِ البولينغ؟ هل تعتبرُ هذه السرعةُ معقولةً لكرةِ الطاولة؟

الحــلّ

المعطى: تدلُّ الرموزُ السفليةُ b و t على كرتَيِ البولينغ (bowling-b) والطاولةِ (tennis-t) على التوالي: $v_b = 3.00$ m/s $\quad m_t = 2.45$ g $\quad m_b = 7.00$ kg

المجهول: $KE_b = ?$ $\quad v_t = ?$

استعملْ معادلةَ الطاقةِ الحركيَّة:

$$KE_b = \frac{1}{2} m_b v_b^2 = \frac{1}{2} (7.00 \text{ kg})(3.00 \text{ m/s})^2 = 31.5 \text{ J}$$

$$KE_t = \frac{1}{2} m_t v_t^2 = KE_b = 31.5 \text{ J}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{2KE_b}{m_t}} = \sqrt{\frac{(2)(31.5 \text{ J})}{2.45 \text{ x } 10^{-3} \text{ kg}}}$$

$$\boxed{v_t = 1.60 \text{ x } 10^2 \text{ m/s}}$$

تلاحظُ أنَّ مقدارَ سرعةِ كرةِ الطاولةِ يتجاوزُ المعقول.

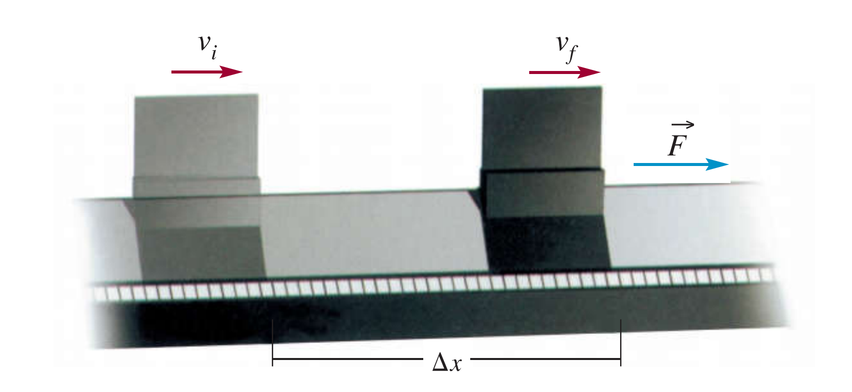
تطبيق 4 (ب)

الطاقةُ الحركيَّة

1. احسبْ سرعةَ طائرةٍ كتلتُها 8.0×10^4 kg وطاقتُها الحركيَّة 1.1×10^9 J.
2. احسبْ سرعةَ كرةِ بيسبول كتلتُها 0.145 kg إذا كانت طاقتُها الحركيَّة 109 J.
3. رصاصتان، كتلةُ إحداهما 3.0 g و كتلةُ الأخرى 6.0 g، أُطلقتا بسرعةِ 40.0 m/s. أيٌّ منهما لديها الطاقةُ الحركيَّةُ الكبرى؟ وما نسبةُ طاقتَيْهما الحركيَّتَين إحداهما إلى الأخرى؟
4. رصاصتان، كتلة كلٍّ منهما 3.0 g أُطلقتا بسرعتَيْنِ مختلفَتَيْنِ 40.0 m/s و 80.0 m/s. ما الطاقةُ الحركيَّةُ لكلٍّ منهما؟ أيُّ الطاقتينِ أكبر؟ ما نسبةُ إحداهما إلى الأخرى؟
5. احسبْ كتلةَ سيّارةٍ لها طاقةٌ حركيَّة 4.32×10^5 J، وتسيرُ بسرعةِ 23 m/s؟

علاقةُ الشغلِ - الطاقةِ الحركيَّة

الطاقةُ الحركيَّةُ هي الطاقةُ الناتجةُ عن حركةِ جسم. يُظهرُ **الشكلُ 4-4** عربةً ذاتَ كتلة m، تتحرَّكُ باتّجاهِ اليمينِ من دونِ احتكاكٍ على مسارٍ هوائيٍّ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ محصِّلةٍ ثابتة $\vec{F}$.



الشكل 4-4
الشغلُ الذي تبذلُه قوةٌ ثابتةٌ على جسمٍ يساوي حاصلَ ضربِ كتلةِ الجسمِ في تعجيلِه وفي إزاحتِه.

أثناءَ تطبيقِ القوَّةِ تتسارعُ العربةُ من سرعةٍ ابتدائيةٍ v_i الى سرعةٍ نهائيةٍ v_f. إذا كانت إزاحةُ الجسمِ Δx فالشغلُ الذي تبذلُه $\vec{F}$ خلالَ هذه الإزاحةِ هو

$$W_{\text{كلي}} = F\Delta x$$

بما أنَّ هذا الشغلَ المبذولَ قد أنتجَ تغيُّرًا في سرعةِ العربةِ، وبالتالي في طاقةِ حركتِها، فيمكنُنا بالمعادلةِ التاليةِ ربطُ هذا الشغلِ بتغيُّرِ الطاقةِ الحركيَّةِ للعربة:

$$W_{\text{كلي}} = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

حيثُ يدلُّ الرمزانِ السفليانِ i و f على الابتدائيِّ (initial, i) والنهائيّ (final, f) على التوالي. فالمعادلةُ تنصُّ على:

$$W_{\text{كلي}} = \Delta KE$$

أي أنَّ الشغلَ المبذولَ على جسمٍ معينٍ من قوةٍ محصَّلةٍ يساوي «التغيُّرَ» في الطاقةِ الحركيَّةِ للجسم. تُسمّى هذه العلاقةُ **علاقةَ الشغل - الطاقة الحركيَّة** work - kinetic energy theorem، وتُكتَبُ باختصارٍ في صورةِ المعادلةِ التالية:

علاقةُ الشغلِ - الطاقةِ الحركية

$$W_{\text{كلي}} = \Delta KE$$

الشغلُ الكليّ = التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيَّة

من المهمِّ أن نُدرجَ عندَ استعمالِنا لهذه العلاقةِ كلَّ القوى التي قد تَبذُلُ شغلاً على الجسم. يلاحَظُ أنَّ سرعةَ الجسمِ تزدادُ إذا كانَ الشغلُ الكلّيُّ موجبًا، لأنَّ الطاقةَ الحركيَّةَ النهائيةَ أكبرُ من الطاقةِ الحركيَّةِ الابتدائية. وتنخفضُ سرعةُ الجسمِ إذا كانَ الشغلُ الكلّيُّ سالبًا، حيثُ إنَّ الطاقةَ الحركيَّةِ النهائيةَ تكونُ أقلَّ من الطاقةِ الحركيَّةِ الابتدائية.

تمكِّنُنا علاقةُ الشغل – الطاقة الحركية من التفكيرِ في الطاقةِ الحركيةِ لجسمٍ على أنها الشغلُ الذي قد يبذلُهُ الجسمُ إلى أن يتوقَّفَ عن الحركة، أو أنها كمِّيةُ الطاقةِ المختزنةِ في الجسم. على سبيلِ المثالِ، للمطرقةِ المتحرِّكةِ التي تهمُّ بضربِ مسمارٍ في **الشكل 4-5** طاقةٌ حركيةٌ تمكِّنُها من بذلِ شغلٍ على المسمار. يُستعمَلُ جزءٌ من هذهِ الطاقةِ لدفعِ المسمارِ في الحائطِ، بينما يقومُ الجزءُ الآخرُ بتحميةِ المطرقةِ والمسمارِ جرَّاءَ الصدمات.

علاقةُ الشغلِ - الطاقةِ الحركيَّة

إنَّ الشغلَ الكلّيَّ المبذولَ على جسمٍ معيَّنٍ يساوي التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيَّةِ لهذا الجسم.



الشكل 4-5
يمكنُ للمطرقةِ التي لها طاقةٌ حركيَّةٌ بذلُ شغلٍ على المسمارِ ودفعُهُ في الحائط.

مثال 4 (ج)

علاقةُ الشغلِ - الطاقةِ الحركية

المسألة

يركلُ شخصٌ مزلاجًا كتلتُه 10.0 kg على سطحِ مستنقعٍ متجمِّدٍ، مما يُكسِبُهُ سرعةً ابتدائيةً مقدارُها 2.2 m/s. ما المسافةُ التي يقطعُها المزلاجُ قبلَ أن يتوقَّفَ، إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين المزلاجِ والجليدِ 0.10؟

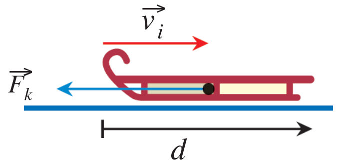
الحـــل

1. أعرِّف

المعطى: $m = 10.0\ \text{kg}$ $v_i = 2.2\ \text{m/s}$ $v_f = 0\ \text{m/s}$ $\mu_k = 0.10$

المجهول: $d = ?$

المخطط:



2. أخطط

أختارُ معادلة: يمكن حلُّ هذه المسالةِ باستعمالِ تعريفِ الشغلِ وعلاقةِ الشغلِ- الطاقةِ الحركية.

$$W_{\text{كلّي}} = \Delta KE \qquad W_{\text{كلّي}} = F_{\text{المحصلة}}\, d(\cos\,\theta)$$

يعطي الشخصُ الطاقةَ الحركيةَ الابتدائيةَ للمزلاجِ.

$$KE_i = \tfrac{1}{2}\, mv_i^2$$

بما أنَّ المزلاجَ يتوقَّفُ بعدَ فترةٍ، فطاقتُه الحركيَّة النهائيةُ تساوي صفرًا: $KE_f = 0$

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = -\tfrac{1}{2}\, mv_i^2$$

إنَّ الشغلَ الكلّيَّ المبذولَ على المزلاجِ هو الشغلُ المبذولُ بوساطةِ قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيّ.

$$W_{\text{كلّي}} = F_{\text{المحصلة}}\, d(\cos\,\theta) = \mu_k mgd(\cos\theta)$$

يكونُ اتّجاهُ قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيِّ معاكسًا لاتجاهِ الإزاحة لذلك $\theta = 180°$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلات:

$$W_{\text{كلّي}} = (0.10)(10.0\ \text{kg})(9.81\ \text{m/s}^2)\ d\ (\cos 180°)$$

$$W_{\text{كلّي}} = (-9.81\ \text{N})\ d$$

$$\Delta KE = -KE_i = -(\tfrac{1}{2})(10.0\ \text{kg})(2.2\ \text{m/s})^2 = -24\ \text{J}$$

أستعملُ علاقةُ الشغلِ - الطاقةِ الحركيةِ لإيجادِ d .

$$W_{\text{المحصلة}} = \Delta KE$$

$$(-9.81\ \text{N})\ d = -24\ \text{J}$$

$$\boxed{d = 2.4\ \text{m}}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

الجوابُ الذي تعطيهِ الآلةُ الحاسبةُ هو 2.448 98. وبما أنَّ الإجابةَ محدَّدةٌ برقمين معنويين، فالجوابُ يقرَّبُ ليصبحَ 2.4.

4. أقيِّم

بما أنَّ اتّجاهَ قوّةِ الاحتكاكِ الحركيِّ معاكسٌ لاتّجاهِ الإزاحة، فمحصِّلةُ الشغلِ سالبة. عندَها تكونُ المسافةُ التي يقطعُها المزلاجُ في الوقتِ المعطى أقلَّ من التي يقطعُها في غيابِ قوى الاحتكاك. وتبعًا للقانونِ الأوّلِ لنيوتن، يسيرُ المزلاجُ بسرعةٍ ثابتةٍ في غيابِ الاحتكاكِ ويقطعُ هذهِ المسافة خلالَ هذه المدَّةِ المعطاة:

$$(2.2\ \text{m/s})(2\ \text{s}) = 4.4\ \text{m}$$

فهي إذن تتجاوزُ مسافةَ 2.4 m.

تطبيق 4 (ج)

علاقةُ الشغل-الطاقة الحركية

1. تدفعُ رياضيَّةٌ تنتعلُ مزلاجَيْن على سطحٍ أفقيٍّ أملسَ بقوَّةٍ ثابتةٍ مقدارُها 45 N بدءًا من حالةِ السكون. ما المسافةُ التي يجبُ أن تقطعَها لتصبحَ طاقتُه الحركيَّةُ النهائيةُ 352 J؟
2. تتسارعُ سيارةٌ كتلتُها 2.0×10^3 kg من حالةِ السكونِ تحتَ تأثيرِ قوَّتَيْن، إحداهما ناتجةٌ من دفعِ المحرِّكِ إلى الأمامِ ومقدارُها 1140 N، والأخرى مقاومةٌ ناتجةٌ من مختلفِ قوى الاحتكاكِ ومقدارُها 950 N. استعملْ علاقةَ الشغلِ-الطاقةِ الحركيةِ لإيجادِ المسافةِ التي على السيّارةِ أن تقطعَها لتصلَ سرعتُها إلى 2.0 m/s.
3. تتحرَّكُ سيّارةٌ كتلتُها 2.1×10^3 kg من حالةِ السكونِ من أعلى منحدرٍ بزاويةِ 20.0° فوقَ الأفقيّ. تُعيقُ حركةَ السيارةِ قوة احتكاكٍ متوسِّطٍ مقدارُها 4.0×10^3 N، فتجعلُ سرعتَها في أسفلِ المنحدرِ 3.8 m/s. ما طولُ المنحدر؟
4. يدفعُ رياضيانِ زحّافةً كتلتُها 75 kg على مسطَّحٍ أفقيٍّ بدءًا من حالةِ السكون. بعدَ دفعِ الزحّافةِ 4.5 m تصلُ سرعتُها إلى 6.0 m/s. جدْ مقدارَ القوَّةِ المحصِّلةِ على الزحّافة.

الفيزياءُ والحياة

الطاقةُ في الغذاء

الغذاءُ الذي نتناولُه يزوِّدُ أجسامَنا بالطاقة. يحتاجُ الجسمُ إلى هذه الطاقةِ لكي نحرِّكَ عضلاتِنا ونحافظَ على درجةِ حرارتِنا الداخليَّةِ ونقومُ بالكثيرِ من المهامِّ الجسديَّة. الطاقةُ في الغذاءِ تُحفظُ كطاقةٍ كامنةٍ في الروابطِ الكيميائيَّةِ في السكَّريات وغيرها من الجزيئات العضويَّة. يطلقُ جزءٌ من هذه الطاقةِ عندَ مضغِك للطعام. بعدَها تخزَّنُ الطاقةُ في جزيئاتِ السكَّرِ على شكلِ غلوكوز. عندما تحتاجُ الخلايا في جسمِك إلى الطاقةِ للقيامِ ببعضِ الوظائفِ الخلويَّة، تقومُ هذه الخلايا بكسرِ جزيئاتِ السكَّرِ في عمليَّةٍ تُسمَّى «التنفُّس الخلويّ». المنتجُ الأساسيُّ لعمليَّةِ التنفُّسِ الخلوي جزيءٌ غني بالطاقة يُسمى «أدينوسين ثلاثيّ الفوسفات ATP»، وله دورٌ مهمٌّ في الكثيرِ من التفاعلاتِ الكيميائيَّةِ داخلَ الخلايا.

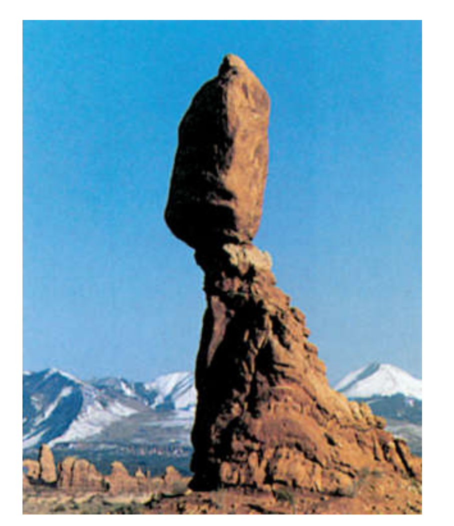
يستعملُ أخصّائيو التغذيةِ وحدة الكالوري (السعرة الحراريَّة) لتحديدِ كمّيَّةِ الطاقةِ في الطعام. تُعرَّفُ الكالوري المعياريَّةُ cal بأنَّها كمّيَّةُ الطاقةِ اللازمةُ لرفعِ درجةِ حرارةِ 1 mL من الماءِ بمقدارِ درجةٍ مئويَّةٍ واحدة 1°C، وتعادلُ الكالوري 4.186 J. أما الكالوري الغذائيَّةُ فهي في الحقيقة 1 kcal أو ما يعادلُ 4186 J.

يحاولُ الأشخاصُ الذين يودّون خفضَ أوزانِهم مراقبةُ السعراتِ الحراريَّةَ في غذائِهم اليومي. يقومُ هؤلاء بحسابِ السعراتِ الحراريَّة لأنَّ الجسمَ يخزِّنُ الطاقةَ غيرَ المستعملةِ كشحومٍ ودهون. تشيرُ معظمُ الملصقاتِ الغذائيَّةِ إلى عددِ السعراتِ الحراريَّةِ في كلِّ منتج. يعتمدُ عدد السعراتِ الحراريَّةِ التي يحتاجُ إليها الجسمُ يوميًّا على كثيرٍ من العواملِ كالعمرِ والوزنِ والتمارينِ الرياضيَّةِ اليوميَّة. يحتاجُ شخصٌ عاديٌّ إلى ما بين 1500 و 2000 سعرةٍ حراريَّةٍ يوميًّا.



الطاقةُ الكامنةُ

يُظهرُ **الشكلُ 6-4** صخرةً ساكنة. وما دامَتِ الصخرةُ متوازنةً فليسَ لها طاقةٌ حركية. وبمجرَّدِ فقدِها لحالةِ الاتّزانِ تسقطُ إلى أرضِ الصحراءِ مكتسبةً طاقةً حركية. كما أنّ السهمَ الجاهزَ للانطلاقِ من قوسٍ له وضعٌ مشابهٌ لوضعِ الصخرة، إذ يكتسبُ بعدَ الانطلاقِ طاقةً حركية.



الشكل 6-4
يوجدُ في هذا التمثالِ طاقةٌ، لكنَّها ليست طاقةً حركيَّةً لأنه لا يتحرَّك. أيُّ نوعٍ من الطاقةِ هي؟

الطاقةُ الكامنةُ هي طاقةٌ مختزنة

كما أنَّ لجسمٍ متحرِّكٍ طاقةً حركية، كذلك يمكنُ أن يكونَ جزءٌ من نظامٍ له أشكالٌ أخرى من الطاقة. تصفُ الأمثلةُ السابقةُ شكلاً من الطاقةِ مرتبطًا بوضعيةِ الجسمِ بالنسبةِ إلى أجسامٍ أخرى أو بالنسبةِ إلى نقطةِ مرجع. تكونُ **الطاقةُ الكامنةُ** potential energy كامنةً في جسمٍ معيَّنٍ عندما تكونُ له القابليةُ للتحرُّكِ من موقعِهِ بالنسبةِ إلى موقعٍ آخرَ كسطحِ الأرضِ مثلاً. والطاقةُ الكامنةُ، بعكسِ الطاقةِ الحركية، لا تعتمدُ على خواصِّ الجسمِ وحدَها، بل على علاقتِهِ بمحيطِه أيضًا.

الطاقةُ الكامنة

الطاقةُ المقترنةُ بجسمٍ ما، جرَّاءَ موضعِه.

الطاقةُ الكامنة الجذبيَّة

درسْنا من قبلُ تأثيرَ قوةِ الجاذبيةِ في حركةِ مقذوف. بعد رمي جسمٍ في الهواءِ إلى أعلى، تعيدُهُ قوَّةُ الجاذبيةِ إلى أسفل. إنَّ الطاقةَ المختزنةَ في الجسمِ الناتجةَ من موقعِهِ بالنسبةِ إلى مصدرٍ جذبيٍّ تُسمّى **الطاقةَ الكامنةَ الجذبية** gravitational potential energy.

تخيَّلْ بيضةً تسقطُ عن طاولة. أثناءَ سقوطِها تكتسبُ البيضةُ طاقةً حركية. ولكنْ ما مصدرُ الطاقةِ الحركيةِ هذه؟ مصدرُها الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ المرتبطةُ بموقعِ البيضةِ الابتدائيِّ بالنسبةِ إلى أرضِ الغرفة. يمكنُنا تحديدُ الطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ باستعمالِ المعادلةِ التالية:

الطاقةُ الكامنةُ الجذبية

الطاقةُ الكامنةُ الجذبية

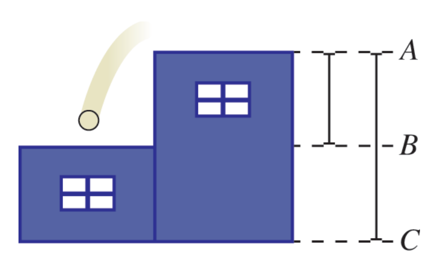
$$PE_g = mgh$$

الطاقةُ الكامنةُ الجذبية = الكتلة × تعجيل السقوط الحرّ × الارتفاع

الطاقةُ المقترنةُ بجسمٍ ما، جرَّاءَ موضعِهِ بالنسبةِ إلى الكرةِ الأرضيةِ أو أيِّ جسمٍ جذبيٍّ آخر.

الجول هو وحدةُ الطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ في النظامِ الدولي للوحداتِ SI، وهو الوحدةُ للطاقةِ الحركيَّة. لاحظْ أنّ التعريفَ أعلاهُ يصلحُ استعمالُه ما دامَ تعجيلُ السقوطِ الحرِّ ثابتًا على مدى الارتفاع، كما هي الحالُ بالقربِ من سطحِ الأرض. بالإضافةِ إلى ذلك تتعلَّقُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ بالارتفاعِ وبتعجيلِ السقوطِ الحرّ، وليسَ أيٌّ منهما من خواصِّ الجسم.

افترضْ أنكَ ألقيْتَ كرةً طائرةً عن سطحِ الطابقِ الثاني A، فاستقرَّتْ على سطحِ الطابقِ الأولِ للمبنى المجاور (انظرِ **الشكلَ 7-4**). إذا قيسَ الارتفاعُ بدءًا من الأرضِ C، لا تكونُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ صفرًا، لأنَّ الكرةَ لا تزالُ في موقعٍ أعلى من الأرض. لكن إذا قيسَ الارتفاعُ بدءًا من سطحِ الطابقِ الأولِ B، فإنَّ الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ تكونُ صفرًا في موقعِها النهائيّ.



الشكل 7-4
إذا كانَت النقطةُ B هي المستوى الصفريّ، فكلُّ الطاقةِ الكامنةِ تتحوَّلُ إلى طاقةٍ حركيةٍ عند سقوطِ الكرةِ من A إلى B. لكن إذا كانت C هي المستوى الصفريّ، فإنَّ جزءًا فقط من مجملِ الطاقةِ الكامنةِ يتحوَّلُ طاقةً حركيةً أثناءَ سقوطِ الكرةِ من A إلى B.

هل تعلم؟

هناكَ وحدةٌ أخرى للطاقةِ تُستعملُ بالإضافةِ إلى الجول، هي الكيلوواط – ساعة (kW•h). وتساوي 3.6×10^{6} J. نستعملُ هذه الوحدة عادةً في الطاقةِ الكهربائية.

إنَّ الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ لجسمٍ معيَّنٍ تعتمدُ على موقعِه. لذا يجبُ أن تقاسَ بالنسبةِ إلى مستوٍ صفريٍّ اختياريّ. المستوي الصفريُّ هو المستوي الأفقيُّ الذي يعرِّفُ الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ على أنها صفر. يتمُّ اختيارُ المستوي الصفريِّ بشكلٍ يسهِّلُ حلَّ المسألة. كثيرًا ما يساعدُ نصُّ المسألةِ على اختيارِ مستوٍ صفريٍّ مناسب.

الطاقةُ الكامنةُ المرونية

تخيَّلْ أنك تلهو بنابضٍ على طاولةٍ إلى جانبِ جدار، فتضغطُهُ على الجدارِ بوساطةِ قالبٍ ثم تتركُه. ينزلقُ القالبُ على سطحِ الطاولةِ، فيكتسبُ طاقةً حركيةً مصدرُها الطاقةُ المختزنةُ في النابضِ المضغوط. الطاقةُ الكامنةُ هذه تُسمّى **الطاقةَ الكامنةَ المرونية** elastic potential energy. تُخَزَّنُ هذه الطاقةُ في أيِّ جسمٍ مضغوطٍ أو مستطالٍ كما هي حالُ النابضِ أو حبالِ شبكةِ مضربِ التنس، أو أوتارِ القيثارة.

يُسمّى طولُ النابضِ عند انعدامِ أيِّ قوّةٍ مؤثِّرةٍ فيه الطولَ الاسترخائيَّ أو الأصليَّ للنابض. عند ضغطِهِ أو استطالتِه، تُختزنُ فيه طاقةٌ كامنةٌ مرونيةٌ تعتمدُ على المسافةِ المضغوطةِ أو المستطالةِ للنابضِ بدءًا من طولِهِ الأصليِّ، كما هو مبيَّنٌ في **الشكلِ 4-8**. باستطاعتِنا تحديدُ الطاقةِ الكامنةِ المرونيةِ باستعمالِ المعادلةِ التالية:

الطاقةُ الكامنةُ المرونية
الطاقةُ الكامنةُ المختزَنةُ في جسمٍ مرنٍ عندما يكونُ مضغوطًا أو مستطالاً.

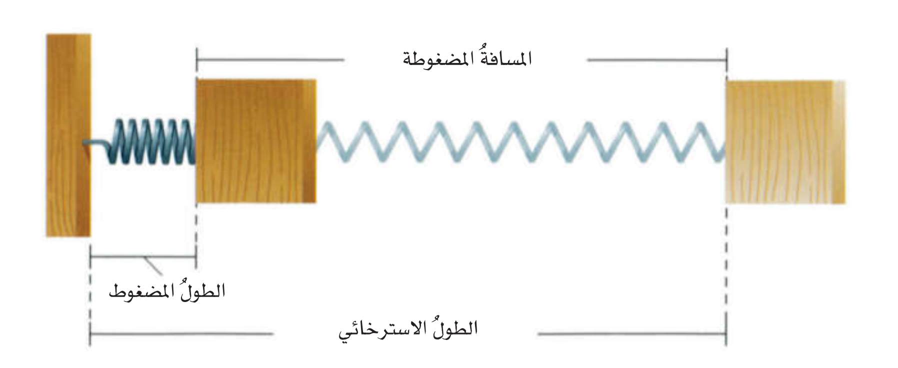
الطاقةُ الكامنةُ المرونية

$$PE_e = \frac{1}{2} kx^2$$

الطاقةُ الكامنةُ المرونية = $\frac{1}{2}$ **ثابت النابض** × **(المسافة المضغوطة أو المستطالة)** ^{2}

إنَّ الرمزَ k يُسمّى **ثابتَ النابض** spring constant، ويكونُ صغيرًا في النابضِ الرخوِ وكبيرًا في النابضِ القاسي، ويقاسُ بالنيوتن مقسومًا على متر (N/m).

ثابتُ النابض
المُعاملُ الذي يدلُّ على مدى مقاومةِ نابضٍ للانضغاطِ أو الاستطالة.



الشكل 4-8
المسافةُ الواردةُ في معادلةِ الطاقةِ الكامنةِ المرونيةِ هي مسافةُ انضغاطِ النابضِ (أو استطالتِهِ) انطلاقًا من طولِه الاسترخائي.

مثال 4 (د)

الطاقةُ الكامنة

المسألة

سركوت رياضيٌّ كتلتُهُ 70.0 kg يقومُ بقفزةِ البنجي بحبل مطاطيٍّ طولُهُ الأصليُّ 15.0 m، عن جسرٍ يرتفعُ 50.0 m فوقَ نهر. يبلغُ طولُ الحبلِ المستطالِ 44.0 m بعدَ أن يستقرَّ سركوت لحظيًا. إذا اعتبرْنا أن سركوت جسيمًا، وأن ثابتَ النابض للحبلِ المرنِ 71.8 N/m، وأن وزنَ الحبلِ مهمل، فما الطاقةُ الكامنةُ الكلّيَّة للرياضيِّ بالنسبةِ إلى سطحِ الماءِ بعد أن يستقرَّ في مكانه؟

الحـــل

1. أعرِّف

المعطى: $g = 9.81\ \text{m/s}^2$ $k = 71.8\ \text{N/m}$ $m = 70.0\ \text{kg}$

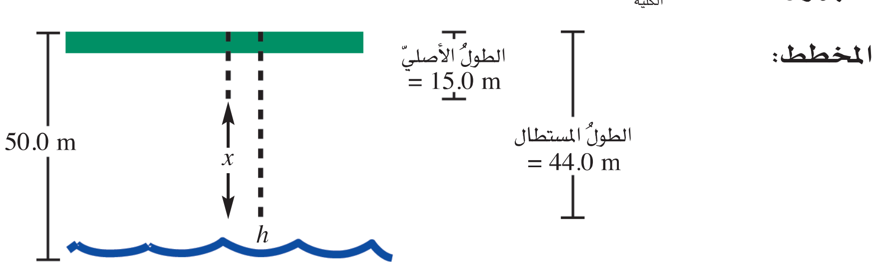
$h = 50.0\ \text{m} - 44.0\ \text{m} = 6.0\ \text{m}$

$x = 44.0\ \text{m} - 15.0\ \text{m} = 29.0\ \text{m}$

على مستوى سطحِ الماءِ $PE = 0\ \text{J}$

المجهول: $PE_{\text{الكلية}} = ?$

المخطط:



2. أخطِّط

أختارُ معادلة: أختارُ مستوى سطحِ الماءِ كمستوٍ صفريٍّ للطاقةِ الكامنةِ الجذبية. تكونُ الطاقةُ الكامنةُ الكليةُ مجموعَ الطاقتَين الكامنتَيْن الجذبيةِ والمرونية.

$$PE_{\text{الكلية}} = PE_g + PE_{elastic}$$

$$PE_{\text{الكلية}} = mgh$$

$$PE_e = \frac{1}{2} kx^2$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلات:

$$PE_g = (70.0\ \text{kg})(9.81\ \text{m/s}^2)(6.0\ \text{m}) = 4.1 \times 10^3\ \text{J}$$

$$PE_e = \frac{1}{2}\ (71.8\ \text{N/m})(29.0\text{m})^2 = 3.02 \times 10^4\ \text{J}$$

$$PE_{\text{الكلية}} = 4.1 \times 10^3\ \text{J} + 3.02 \times 10^4\ \text{J}$$

$$\boxed{PE_{\text{الكلية}} = 3.43 \times 10^4\ \text{J}}$$

4. أقيِّم

إحدى طرائقِ تقويمِ الجوابِ تكونُ عن طريقِ تقديرِ رتبةِ العِظَم. ورتبةُ الطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ هي:

$$10^2\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2 \times 10\ \text{m} = 10^4\ \text{J}$$

ورتبةُ العِظَمِ للطاقةِ الكامنةِ المرونيةِ هي:

$$1 \times 10^2\ \text{N/m} \times 10^2\ \text{m}^2 = 10^4\ \text{J}$$

بناءً عليه تكونُ رتبةُ عِظَمِ الطاقةِ الكامنةِ الكليةِ 2×10^4 J ، وهي بالفعلِ قريبةٌ من الجوابِ الحقيقيّ.

تطبيق 4 (د)

الطاقةُ الكامنة

1. لنابضٍ طولٌ أصليٌّ 2.45 m وثابتٌ 5.2 N/m. عندَ تعليقِ كتلةٍ في طرفِهِ يستطيلُ رأسيًّا حتى يصلَ إلى طولٍ نهائيٍّ 3.57 m. احسبْ الطاقةَ الكامنةَ المختزنةَ في النابض.
2. يتمُّ تثبيتُ الدبابيسُ في مدبسةِ أوراقٍ بوساطةِ نابضٍ طولُهُ الأصليُّ 0.115 m وثابتُهُ 51.0 N/m. ما الطاقةُ الكامنةُ المرونيةُ المختزَنةُ في النابضِ عندَما يكونُ طولُه 0.150 m؟
3. يتأرجحُ ولدٌ كتلتُهُ 40.0 kg في أرجوحةٍ معلَّقةٍ بحبالٍ طولُ كلٍّ منها 2.00 m. جدْ الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ الخاصةَ بالولدِ بالنسبةِ إلى أدنى وضعٍ له في الحالاتِ التالية:
   أ. عندَما تكونُ الحبالُ أفقية.
   ب. عندَما تشكِّلُ الحبالُ زاويةً 30.0° مع العمود.
   ج. في أسفلِ نقطةٍ للقوسِ الدائريّ.

مراجعةُ القسم 2-4

1. ترتدُّ كرةٌ كتلتُها 50.0 g بسرعةٍ مقدارُها 42 cm/s. كم تكونُ الطاقةُ الحركيةُ للكرةِ بالجول؟
2. يدفعُ متعلِّمٌ كتابًا كتلتُهُ 0.75 kg على طاولة، فيتوقَّفُ بعد 1.2 m. إذا اعتبرْنا مُعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الكتابِ والطاولةِ 0.34، فكم تكونُ، مع استعمالِكَ علاقةَ الشغلِ – الطاقةِ الحركية، السرعةُ الابتدائيةُ للكتاب.
3. لملعقةٍ ومحتوياتِها كتلةٌ كليّةٌ 30.0 g، ما الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ لهذه الملعقةِ بالنسبةِ إلى سطحِ طاولةٍ، بعد أن تُرفَعَ 21.0 cm فوقَ سطحِ الطاولة؟
4. **تفكيرٌ ناقد** ما أشكالُ الطاقةِ في الحالاتِ التالية؟
   أ. دراجةٌ تسيرُ على طريقٍ مستوٍ.
   ب. تسخينُ ماء.
   ج. رميُ كرة.
   د. دورانُ نابضِ الساعة.
5. **تفكيرٌ ناقد** فيمَ تتباينُ أنواعُ الطاقةِ المذكورةِ في السؤالِ 4، مع التمييزِ بينَ الطاقتينِ الميكانيكيةِ وغيرِ الميكانيكية، والطاقتَيْن الحركيةِ والكامنة، والطاقتَين الكامنتَيْن الجذبيةِ والمرونية؟

القسم 3-4

حفظُ الطاقة

Conservation of Energy

3-4 أهدافُ القسم

- يحدّدُ المواضعَ التي يكونُ فيها مبدأُ حفظِ الطاقةِ الميكانيكيةِ ساريًا.
- يتعرّفُ الأشكالَ التي يمكنُ للطاقةِ المحفوظةِ أن تظهرَ بها.
- يحلُّ مسائلَ مستعملاً حفظَ الطاقةِ الميكانيكيةِ.

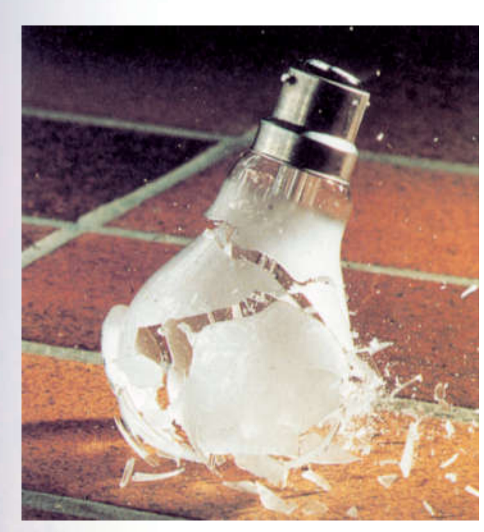
الكمِّياتُ المحفوظة

عندما نقولُ إن شيئًا ما محفوظ، نعني أنه يبقى ثابتًا. ويعني أنَّ كمًّا معيَّنًا من كمّيةٍ محفوظةٍ يبقى هو نفسَهُ مع مرورِ الزمن. لا يعني ذلك أنَّ شكلَ الكمّيةِ لا يتغيَّرُ في هذه الفترةِ، بل يعني أنَّ الكمَّ الكلّيَّ الناتجةَ عنه جميعُ الأشكالِ يبقى ثابتًا.

مثلاً، مبلغُ المالِ الذي قد يكونُ في حوزتِكَ ليسَ كمّيةً محفوظةً، لأن من الممكنِ أن يتغيرَ مع الزمن. وعدمُ صرفِك المالَ الذي بحوزتِكَ في فترةٍ معيَّنةٍ يعني أنه محفوظ.

إذا كانَ لديك دينارٌ، فقيمتُهُ تبقى هي نفسَها بالرغمِ من تعدُّدِ الأشكالِ التي يتَّخذُها، إذ قد يتغيَّرُ من قطعةٍ ورقيةٍ أو معدنيةٍ إلى حوالةٍ أو سهمٍ مصرفيّ، وقد يتجزَّأُ الدينارُ إلى أكثرَ من قطعةٍ نقديةٍ، لكنَّ المجموعَ يبقى دينارًا.

الكتلةُ هي مثالٌ على كمّيةٍ محفوظةٍ تعرفتَها مسبقًا. تصوَّرْ أنَّ مصباحًا يقعُ على الأرضِ فيتكسرُ وتتناثرُ أجزاؤُهُ، كما في **الشكل 9-4**، فالكتلةُ الكليةُ لأجزاءِ المصباحِ المتناثرةِ تساوي كتلةَ المصباحِ قبلَ انكسارِه، مما يؤكدُ أنَّ الكتلةَ كميةٌ فيزيائيةٌ محفوظة.



الشكل 9-4
كتلةُ المصباحِ هي نفسُها، سواءٌ كانَ سليمًا أو أجزاءً متناثرة. الكتلةُ إذن كمّيةٌ محفوظة.

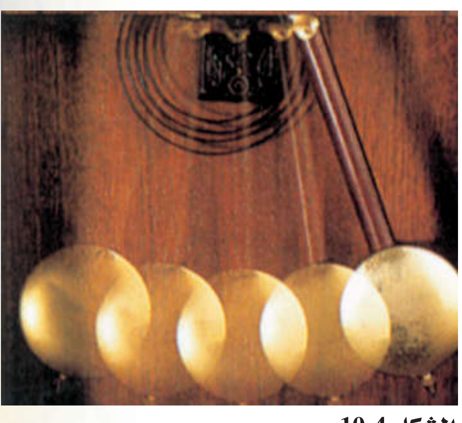
الطاقةُ الميكانيكية

استعرضنا أمثلةً على أجسامٍ لها طاقةٌ حركيَّةٌ أو طاقةٌ كامنة. وغالبًا ما يتضمَّنُ وصفُ حركةِ الأجسامِ مزيجًا للطاقتَيْنِ معًا بالإضافةِ إلى أشكالٍ أخرى من الطاقةِ الكامنة. يمكنُ تحليلُ الحالاتِ التي تتضمَّنُ مزيجًا من هذه الأشكالِ المختلفةِ بشكلٍ بسيط. فلندرسْ مثلاً حركةَ الأجزاءِ المختلفةِ لرقّاصِ ساعةٍ متأرجح. يكونُ للرقّاصِ عند أعلى نقطةٍ من تأرجُحِه، حيث سرعتُه اللحظيةُ صفرٌ، طاقةٌ كامنةٌ جذبيةٌ فقط ناتجةٌ من موقعِه.

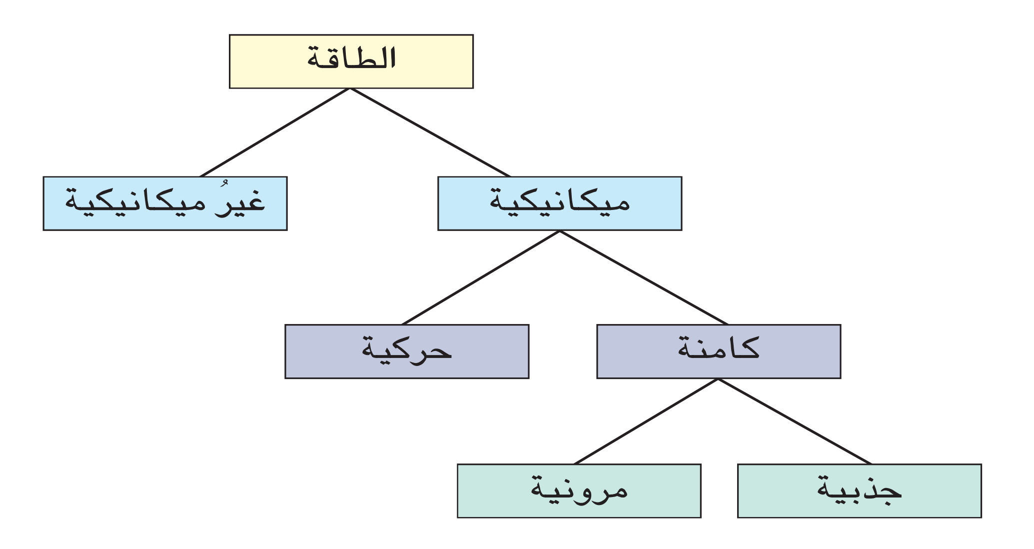
لكن في مواقعَ أخرى، فالرقّاصُ يتحرَّكُ، ويكونُ له بالتالي طاقةٌ حركيَّةٌ أيضًا. علمًا أنَّ أشكالاً أخرى للطاقةِ قد تتوفَّرُ في هذا المثال، كالطاقةِ الكامنةِ المرونيةِ للزنبركاتِ التي تشكِّلُ أجزاءً داخليةً للساعةِ، كما في **الشكل 10-4**.

تُعَدُّ دراسةُ الحالاتِ التي تتضمَّنُ طاقةً حركيةً وطاقةً كامنةً جذبيةً وطاقةً كامنةً مرونيةً عملاً بسيطًا نسبيًّا قياسًا على حالاتٍ تتضمَّنُ أشكالاً أخرى من الطاقةِ، كالطاقةِ الكامنةِ الكيميائية. يمكنُنا تجاهلُ هذه الأشكالِ الأخرى إذا كانَ تأثيرُها مهمَلاً أو لا يتعلَّقُ بالحالةِ المدروسة. ومن المفيدِ تعريفُ كمّيةِ **الطاقةِ الميكانيكيةِ** mechanical energy، بأنها حاصلُ جمعِ الطاقةِ الحركيةِ مع كلِّ أشكالِ الطاقةِ الكامنةِ الخاصَّةِ بجسمٍ أو مجموعةِ أجسام:

$$ME = KE + \Sigma PE$$



الشكل 10-4
يجبُ اعتبارُ مجموعِ الطاقتَيْنِ الكامنةِ والحركيةِ عندَ وصفِ الطاقةِ الكليةِ لرقّاصِ الساعة.



الشكل 4-11
يمكنُ تصنيفُ الطاقةِ بعدَّةِ طرائق.

إنَّ كلَّ الأنواعِ الأخرى للطاقةِ، كالطاقةِ النوويةِ والكيميائيةِ والداخليةِ والكهربائيةِ التي ليسَ لها سمةٌ ميكانيكيةٌ، تصنَّفُ غيرَ ميكانيكية. والطاقةُ الميكانيكيةُ لا تمثِّلُ نوعًا فريدًا من الطاقةِ، بل هي صنفٌ من أصنافِها، كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 4-11**. وفي إمكانِكَ إضافةُ أنواعٍ جديدةٍ من الطاقةِ إلى هذا الجدولِ بعدَ التعرفِ إليها.

غالبًا ما تكونُ الطاقةُ الميكانيكيةُ محفوظة

الطاقةُ الميكانيكية

حاصلُ جمعِ الطاقةِ الحركيةِ وكلِّ أشكالِ الطاقةِ الكامنة.

تخيَّلْ بيضةً كتلتُها 75 g موضوعةً على حافةِ طاولةٍ تعلو 1.0 m عن سطحِ الأرض، وقد تمَّ دفعُها لتسقطَ إلى الأرض. بما أنَّ تعجيلَ البيضةِ يبقى ثابتًا أثناءَ سقوطِها، يكونُ في إمكانِكَ استعمالُ معادلاتِ الحركةِ لتحديدِ سرعةِ البيضةِ والمسافةِ التي قطعتْها في أيِّ وقتٍ لاحق. ويمكنُ بالتالي حسابُ ارتفاعِ البيضةِ في أيِّ لحظةٍ بطرحِ مسافةِ سقوطِها من الارتفاعِ الابتدائي. على سبيلِ المثال، بعد 0.10 s تكونُ سرعةُ البيضة 0.98 m/s ومسافةُ سقوطِها 0.05 m، ممّا يعني أنَّ ارتفاعَها عن الأرضِ يكونُ 0.95 m. إنَّ معرفتَك لسرعةِ البيضةِ وارتفاعِها عن الأرضِ بدلالةِ الزمنِ تمكِّنُكَ من حسابِ طاقتِها الحركيَّةِ وطاقتِها الكامنةِ الجذبية. وبجمعِ الطاقةِ الحركيةِ والطاقةِ الكامنةِ الجذبيَّةِ للبيضةِ في أيِّ موقعٍ كانت، نحصُلُ على الطاقةِ الميكانيكية.

في حالِ غيابِ الاحتكاكِ، تبقى الطاقةُ الميكانيكيةُ هي نفسَها، وهذا ما يُسمّى حفظَ

الجدول 4-1 **طاقةُ البيضةِ الساقطة**

الزمن (s)	الارتفاع (m)	السرعة (m/s)	PE_g (J)	KE (J)	ME (J)
0.00	1.0	0.00	0.74	0.00	0.74
0.10	0.95	0.98	0.70	0.036	0.74
0.20	0.80	2.0	0.59	0.15	0.74
0.30	0.56	2.9	0.41	0.33	0.74
0.40	0.22	3.9	0.16	0.58	0.74

الطاقةِ الميكانيكية. وبرغم أنَّ كمّيةَ الطاقةِ الميكانيكيةِ ثابتةٌ، فهي تستطيعُ أن تتَّخذَ أشكالاً مختلفة. خذْ مثلاً أشكالَ الطاقةِ للبيضةِ الساقطةِ كما هو مبيَّنٌ في **الجدول 1-4**. أثناءَ سقوطِ البيضة، تتحوَّلُ الطاقةُ الكامنةُ بشكلٍ مستمرٍّ إلى طاقةٍ حركية. ولو أنَّ البيضةَ أُطلقتْ إلى أعلى في الهواءِ، لتحوَّلَتْ طاقتُها الحركيَّةُ إلى طاقةٍ كامنةٍ جذبية. وفي كلتا الحالين، الطاقةُ الميكانيكيَّةُ محفوظة. يمكنُ ترميزُ حفظِ الطاقةِ الميكانيكيةِ بما يلي:

حفظُ الطاقةِ الميكانيكية

$$ME_i = ME_f$$

الطاقةُ الميكانيكيةُ الابتدائية = الطاقة الميكانيكية النهائية

(مع إهمال الاحتكاك)

إنَّ التعبيرَ الرياضيَّ لحفظِ الطاقةِ الميكانيكيةِ يعتمدُ على أشكالِ الطاقةِ الكامنةِ في المسألةِ المعطاة. فمثلاً لو كانتِ الجاذبيةُ هي القوةَ الوحيدةَ المؤثرةَ في الجسمِ، كما هي الحالُ في مثالِ البيضة، فإنَّ قانونَ الحفظِ يمكنُ أن يُكتَبَ كما يلي:

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh_i = \frac{1}{2}mv_f^2 + mgh_f$$

في حالِ وجودِ قُوًى أخرى (غيرِ قوةِ الاحتكاك)، أضِفْ تعابيرَ الطاقةِ الكامنةِ الخاصَّةَ بكلِّ قوة، كأن يحدثَ مثلاً أن ضَغَطتِ البيضةُ زنبركًا أو أطالتْهُ أثناءَ سقوطِها، فإنه يجبُ إضافةُ تعبيرِ الطاقةِ الكامنةِ المرونيةِ إلى كلِّ طرفٍ من طرفَيِ معادلةِ قانونِ الحفظ.

في حالِ وجودِ قُوى احتكاك، لا يمكنُ الأخذُ بمبدأِ حفظِ الطاقةِ الميكانيكية، لأنَّ الطاقةَ الحركيةَ لا تتحوَّلُ ببساطةٍ إلى شكلٍ من أشكالِ الطاقةِ الكامنة. معالجةُ هذه الحالةِ الخاصةِ ستتمُّ لاحقًا خلالَ هذا القسم.

نشاط عملي سريع

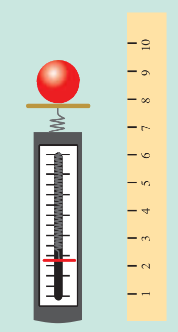
الطاقةُ الميكانيكية

الموادّ

- ✓ نابض متوسطُ الحجم (ميزانٌ زنبركي)
- ✓ مجموعةٌ من الكراتِ الصغيرةِ ذاتِ الكتلِ المختلفة
- ✓ مسطرة
- ✓ شريط
- ✓ ميزان

إرشاداتُ السلامة

على المتعلِّمينَ أن يستعملوا النظاراتِ الواقيةَ عند إجراءِ التجربة.



حددْ أوّلاً كتلةَ كلِّ كرةٍ ثم ألصقِ المسطرةَ على جانبِ سطحِ الطاولةِ وثبِّتْها بشكلٍ عموديّ. ضعِ النابضَ عموديًا على الطاولةِ بالقربِ من المسطرةِ واضغطْهُ بوساطةِ إحدى الكرات. أَفْلِتِ الكرةَ وقسِ الارتفاعَ الأقصى الذي تصلُ إليه في الهواء.

كرِّرِ المحاولةَ خمسَ مراتٍ ثم جدْ متوسطَ الارتفاع. هل تستطيعُ، بالاعتمادِ على بياناتِك، توقُّعَ الارتفاعِ الذي قد تصلُه الكراتُ الأخرى؟ اختبرْ توقُّعَك.

(افترضْ حفظَ الطاقةِ المكانيكية.)

مثال 4 (هـ)

حفظُ الطاقةِ الميكانيكية

المسألة



تتزحلقُ بنتٌ كتلتُها 25.0 kg إلى أسفل مُنزَلَقٍ غيرِ احتكاكيٍّ (أملس) بدءًا من حالةِ السكونِ على ارتفاعِ 3.00 m، ما سرعتُها في أسفلِ المنزلَق؟

الحل

1. أعرِّف

المعطى: $h = h_i = 3.00\ \text{m} \quad m = 25.0\ \text{kg} \quad v_i = 0.0\text{m/s}$

$h_f = 0\ \text{m}$

المجهول: $v_f = ?$

2. أخطِّط

أختارُ معادلةً أو موقفًا: بما أنَّ قوةَ الاحتكاكِ غيرُ موجودةٍ فإنَّ الطاقةَ الميكانيكيةَ محفوظة، علمًا أنَّ الطاقةَ الحركيةَ والطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ هما الشكلانِ الوحيدانِ للطاقة هنا.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \qquad PE = mgh$$

المستوي الصفريُّ المختارُ للطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ هو أسفلُ المنزَلَق، لذلك تكونُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ النهائيةُ صفرًا.

$$PE_{g,f} = 0$$

تكون الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ الابتدائيةُ في أعلى المنزلق:

$$PE_{g,i} = mgh_i = mgh$$

بما أنَّ البنتَ تبدأُ حركتَها من السكونِ، تكونُ طاقةُ حركتِها الابتدائيةُ صفرًا.

$$KE_i = 0$$

وعليه تكونُ الطاقةُ الحركيةُ النهائية:

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلات:

$$PE_{g,i} = (25.0\ \text{kg})(9.81\ \text{m/s}^2)(3.00\ \text{m}) = 736\ \text{J}$$

$$KE_f = \frac{1}{2}(25.0\ \text{kg})v_f^2$$

والآنَ أستعملُ الكمياتِ المحسوبةَ لتقويمِ السرعةِ النهائية.

$$ME_i = ME_f$$

$$PE_i + KE_i = PE_f + KE_f$$

$$736\ \text{J} + 0\ \text{J} = 0\ \text{J} + (0.500)(25.0\ \text{kg})v_f^2$$

$$\boxed{v_f = 7.67\ \text{m/s}}$$

4. أقيِّم يمكنُكَ كتابةُ تعبيرِ مربَّعِ السرعةِ النهائيةِ كما يلي:

$$v_f^2 = \frac{2\cancel{m}gh}{\cancel{m}} = 2gh$$

لاحظْ أنَّ الكتلةَ تُختزَل، لذا لا تعتمدُ السرعةُ النهائيةُ على كتلةِ البنت. وهذه النتيجةُ منطقيةٌ، لأنَّ التعجيلَ الناتجَ عن الجاذبيةِ لجسمٍ معيَّنٍ لا يعتمدُ على كتلةِ الجسم.

جوابُ الآلةِ الحاسبة

ستعطيكَ آلتُكَ الحاسبةُ هذا الجواب: 7.673 33، لكنْ يلزمُ أن يكونَ الجوابُ محدودًا بثلاثةِ أرقامٍ معنوية. لذا يجبُ أن يدوَّر إلى 7.67.

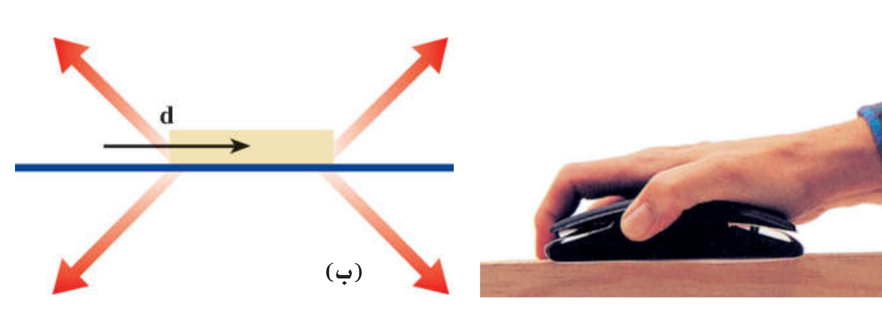
تطبيق 4 (هـ)

حفظُ الطاقةِ الميكانيكية

1. يطيرُ طائرُ نورسٍ فوق سطحِ الماءِ بسرعةِ 18.0 m/s وتسقطُ منه سمكةٌ كتلتُها 2.00 kg. إذا كانَ ارتفاعُ النورسِ 5.40 m والاحتكاكُ مهملٌ، فكم تكونُ سرعةُ السمكةِ عندَ اصطدامِها بسطحِ الماء؟
2. يسقطُ غطّاسٌ وزنُه 755 N عن منصَّة قفزٍ ترتفعُ 10.0 m عن سطحِ الماء. كم تكونُ سرعةُ الغطّاسِ عندَما يصلُ ارتفاعُه إلى 5.00 m فوقَ سطحِ الماء؟ جدْ سرعتَهُ عندما يلامسُ سطحَ الماء.
3. افترضْ أنَّ الغطّاسَ في السؤالِ 2 قفزَ أولاً إلى أعلى بسرعةٍ عموديةٍ ابتدائيةٍ 2.00 m/s، جدْ سرعتَهُ عندما يلامسُ سطحَ الماء.
4. يقفزُ عدّاءٌ أولمبيٌّ فوقَ حاجزٍ أثناءَ سباقٍ بسرعةٍ رأسيةٍ ابتدائيةٍ مقدارها 2.2 m/s. كم يرتفعُ مركزُ كتلتِهِ أثناءَ القفزة؟
5. يُترَكُ رقّاصُ ساعةٍ من علوٍّ ابتدائيٍّ معيَّن، بحيثُ تكونُ سرعتُهُ في أدنى موقعٍ لتأرجُحِه 1.9 m/s. كم كانَ الارتفاعُ الابتدائيُّ للرقّاص؟

الطاقةُ الميكانيكيةُ غيرُ محفوظةٍ عند وجودِ احتكاك

تلاحظُ أثناءَ حفِّكَ لسطحٍ خشنٍ بقالبِ حفٍّ، كما في **الشكل 12-4**، أنَّ عليكَ أن تبذُلَ قوةً بشكلٍ دائمٍ لتبقيَ القالَبَ متحركًا. السببُ في ذلك أنَّ الاحتكاكَ الحركيَّ بين القالَبِ والسطحِ يجعلُ الطاقةَ الحركيةَ تتحوَّلُ إلى نوعٍ غيرِ ميكانيكيٍّ للطاقة. عندَما تتابعُ بذلَ



الشكل 12-4
(أ) بينَما ينزلقُ القالبُ، تنقُصُ طاقتُه الحركيَّة بسببِ الاحتكاك، بينَما تبقيه قوَّةُ اليدِ متحركًا
(ب) تتشتَّتُ الطاقةُ الحركية في القالبِ والسطح.

قوّةٍ على القالَبِ، تعوِّضُ الطاقةَ الحركيةَ الضائعةَ بسببِ الاحتكاكِ الحركيّ. النتيجةُ الملحوظةُ في هدرِ الطاقةِ هذه تظهرُ في سخونةِ كلٍّ من قالَبِ الحفِّ وسطحِ الطاولة.

عندَ وجودِ احتكاكٍ حركيٍّ تصبحُ الطاقةُ غيرُ الميكانيكيةُ غيرَ مهملةٍ، والطاقةُ الميكانيكيةَ تصبحُ غيرَ محفوظة. هذا لا يعني بشكلٍ عامٍّ أنَّ الطاقةَ غيرُ محفوظةٍ، لأنَّ الطاقةَ الكلّيةَ بأشكالِها المختلفةِ تبقى دائمًا محفوظة. كُلُّ ما هنالك أنَّ الطاقةَ الميكانيكيةَ تتحوَّلُ إلى أشكالٍ من الطاقةِ يصعُبُ حسابُها، لذلكَ نعتبرُ أنَّ الطاقةَ الميكانيكيةَ قد «ضاعت».

مراجعةُ القسم 3-4

1. ضُغِطَ نابضُ مهرِّجِ اللعبةِ jack-in-the-box مسافةَ 8.00 cm من طولِه الابتدائي، ثم تُرِكَ يتحرَّكُ في الاتجاهِ العموديّ. كم تكونُ سرعةُ رأسِ المهرِّجِ (المثبتِ في أعلى النابض) عندما يعودُ النابضُ إلى طولِهِ الطبيعيّ، علمًا أنَّ كتلةَ الرأسِ 50.0 g وثابتَ النابضِ 80.0 N/m، مع إهمالِ كتلةِ النابض؟

2. أنت ترغبُ في تصميمِ منزلَقٍ ملتوٍ roller coaster بحيثُ تشدُّ عربتَك إلى قمَّةٍ من قممِ المسارِ ارتفاعُها h، ثَمَّ تُترَكُ العربةُ بعدَ توقُّفِها برهةً لتنزلقَ بشكلٍ حرٍّ إلى أسفلِ المنحدَر، لتعلوَ بعدَها إلى قمَّةٍ أخرى ارتفاعُها $1.1\ h$. هل ينجحُ تصميمُكَ عند التنفيذ؟ اشرحْ جوابَك.

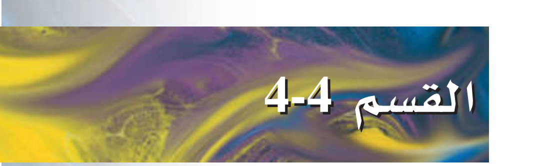
3. في أيٍّ منَ الحالاتِ التاليةِ يُطبَّقُ مبدأُ حفظِ الطاقةِ الميكانيكية؟

أ. قرصٌ انزلاقيٌّ أثناءَ تحرُّكِهِ من دونِ احتكاكٍ على سطحٍ جليديّ.

ب. سيارةٌ-لعبةٌ أثناءَ سيرِها على أرضٍ مغطّاةٍ بالسجاد.

ج. كرةُ بيسبول مرميةٌ في الهواء.

4. تفكيرٌ ناقد أيُّ قسمٍ من التصميمِ الحركيِّ في الصفحتينِ 104 و 105 يتضمَّنُ تحويلاً للطاقةِ من نوعٍ إلى آخر؟ هل تُعتَبَرُ الطاقةُ الميكانيكيةُ محفوظةً في هذه العمليات؟



القدرة
Power

4-4 أهدافُ القسم

- يربطُ بين مفاهيمِ الطاقةِ والزمنِ والقدرة.
- يحسبُ القدرةَ بطريقتَيْنِ مختلفتَيْن.
- يفسِّرُ تأثيرَ الآلاتِ في الشغلِ والقدرة.

القدرة

الشغلُ المبذولُ خلالَ وحدةِ الزمن.

معدَّلُ انتقالِ الطاقة

إنَّ المعدلَ الزمني الذي يُبذَلُ به الشغلُ يُسمّى **قدرة** power. وبشكلٍ أشملَ، القدرةُ هي المعدَّلُ الزمني لانتقالِ الطاقةِ دونَ اعتبارِ الطريقة. ومثلما هي حالُ مفهومَيِ الطاقةِ والشغل، فللقدرةِ معنًى علميٌّ يختلفُ عن معناها الشائع.

تخيَّلْ أنك أثناءَ إنتاجِ مسرحيةٍ تحتاجُ إلى رفعِ الستارةِ وإسدالِها بين المَشاهدِ لفترةٍ محدودة. يتطلّبُ ذلك استعمالَ محرِّكٍ يشدُّ حبلاً مربوطًا إلى أعلى الستارة. يعرِضُ عليك مساعدُكَ ثلاثةَ محرِّكاتٍ ويتركُ لك أن تختار أحدها. إحدى طرائقِ الاختيارِ تعتمدُ على القدرةِ التي يُنتِجها كلُّ محرِّك.

إذا كانَ W هو الشغلَ المبذولَ على جسمٍ معيَّنٍ خلالَ فترةٍ من الزمنِ Δt، فإنَّ القدرةَ التي نحصُلُ عليها خلالَ هذه الفترةِ تُكتَبُ على الشكلِ التالي:

القدرة

$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

القدرة = الشغل ÷ الفترة الزمنية

من المفيدِ أحيانًا إعادةُ كتابةِ هذه المعادلةِ عن طريقِ استبدالِ الشغلِ بـ Fd في تعريفِ القدرةِ والحصولِ على شكلٍ بديل:

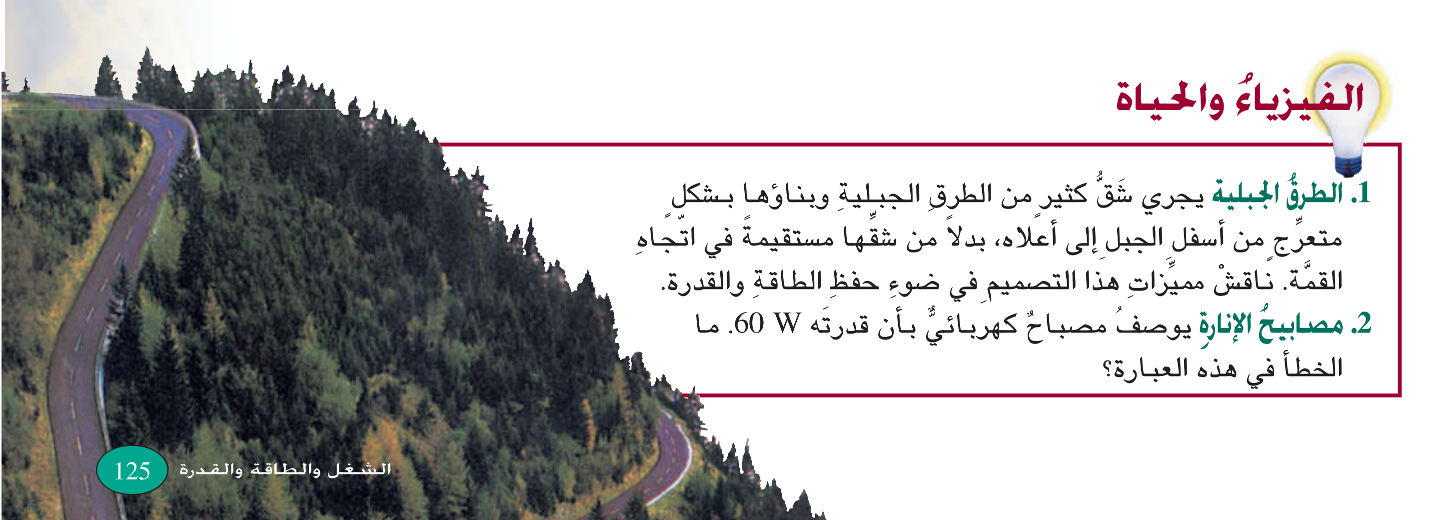
$$W = Fd$$

$$P = \frac{W}{\Delta t} = F\frac{d}{\Delta t}$$

علمًا أنَّ المسافةَ المقطوعةَ خلالَ وحدةٍ زمنيةٍ هي مجرَّدُ مقدارِ سرعةِ الجسم.

الفيزياءُ والحياة

1. **الطرقُ الجبلية** يجري شَقُّ كثيرٍ من الطرقِ الجبليةِ وبناؤها بشكلٍ متعرِّجٍ من أسفلِ الجبلِ إلى أعلاه، بدلاً من شقِّها مستقيمةً في اتّجاهِ القمَّة. ناقشْ مميِّزاتِ هذا التصميمِ في ضوءِ حفظِ الطاقةِ والقدرة.
2. **مصابيحُ الإنارة** يوصفُ مصباحٌ كهربائيٌّ بأن قدرتَه 60 W. ما الخطأ في هذه العبارة؟





الشكل 4-13
تدلُّ قدرةُ كلٍّ من هذه المصابيحِ على معدَّلِ انتقالِ الطاقةِ في كلٍّ منها. للمصابيحِ في هذه الصورةِ قدراتٌ تراوحُ بين 0.7 W و 200 W.

صيغةٌ بديلةٌ للقدرة

$$P = Fv$$

القدرة = القوة × السرعة

إنَّ وحدةَ القدرةِ في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ هي واط، W. وتُعرَّفُ على أنها جولٌ واحدةٌ في الثانية. تُعتبَرُ القدرةُ الحصانيةُ، hp، وحدةَ قياسٍ أخرى للقدرة. كلُّ حصانٍ ميكانيكيٍّ واحدٍ يساوي 746 W.

أنتَ في حياتِكَ اليوميةِ تعرفُ الواط من خلالِ خبرتِكَ بالمصابيحِ الكهربائيةِ (انظر **الشكلَ 4-13**). قد تتدنّى قدرةُ المصباحِ الخافتِ إلى حوالي 40 W، بينَما تصلُ قدرةُ المصباحِ الساطعِ إلى حوالي 500 W. أما مصابيحُ الزينةِ فتراوحُ قدرتُها بين حوالي 0.7 W للإضاءةِ الداخليةِ وحواليّ 7.0 W للإضاءةِ الخارجية.

الآلاتُ ذاتُ قدراتٍ مختلفةٍ تبذلُ الشغلَ نفسَهُ في فتراتٍ زمنيةٍ مختلفة

ترفعُ المحرِّكاتُ الثلاثةُ في المثالِ 4 (و) الستارةَ في فتراتٍ زمنيةٍ مختلفة، لأنَّ لها قدراتٍ إنتاجيةً مختلفة. يبذُلُ، إذن، كلُّ محرِّكٍ الشغل نفسه على الستارةِ ضمنَ فتراتٍ زمنيةٍ مختلفةٍ، مما يؤدّي إلى انتقالِ الطاقةِ إلى الستارةِ بمعدَّلاتٍ مختلفة. ففي فترةٍ محدودةٍ يمكنُ لكلِّ محرِّكٍ أن يقومَ بكمّيةٍ مختلفةٍ من الشغل. فبينما يبذُلُ المحرِّكُ ذو القدرةِ 5.5 kW أقصى كمّيةِ شغلٍ في فترةٍ معيَّنةٍ، يبذُلُ المحرِّكُ ذو القدرةِ 1.0 kW أقلَّ كميةِ شغلٍ في الفترةِ نفسِها. ومع ذلك تقومُ المحرِّكاتُ الثلاثةُ بالشغلِ نفسِهِ خلالَ رفعِها الستارة. يكمنُ التمايزُ في أنَّ المحرِّكَ الأقدرَ هو الذي يستطيعُ القيامَ بالشغلِ في الفترةِ الزمنيةِ الأقصر.

مثال 4 (و)

القدرة

المسألة

يرادُ رفعُ ستارةٍ كتلتُها 193 kg مسافةَ 7.5 m بسرعةٍ ثابتةٍ وفي فترةٍ تقاربُ 5.0 s. يُستعمَلُ لهذه الغايةِ ثلاثةُ محرِّكاتٍ بقدراتِ 1.0 kW و 3.5 kW و 5.5 kW، أيُّ المحرِّكاتِ هو الأنسبُ لهذا العمل؟

الحــل

المعطى: $d = 7.5\ \text{m}$ $\quad \Delta t = 5.0\ \text{s}$ $\quad m = 193\ \text{kg}$

المجهول: $P = ?$

أستعملُ معادلةَ القدرة.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{Fd}{\Delta t} = \frac{mgd}{\Delta t}$$

$$P = \frac{(193 kg)(9.81 \ m/s^2)(7.5 \ m)}{5.0 \ s}$$

$$P = 2.8 \times 10^3 \ W = 2.8 \ kW$$

إنَّ المحركَ الأنسبَ للاستعمالِ هو ذو قدرةِ الإنتاجِ 3.5 kW، لأنَّ محرِّكًا بقدرةِ 1.0 kW لا يرفعُ الستارةَ بالسرعةِ المطلوبة، كما أنَّ المحرِّكَ 5.5 kW يرفعُها بسرعةٍ عالية.

تطبيق 4 (و)

القدرة

1. الحمولةُ القصوى لمصعدٍ كتلتُهُ 1.0×10^3 kg هي 800.0 kg، وهو يتعرَّضُ في صعودِهِ لقوَّةِ احتكاكٍ ثابتةٍ مقدارُها 4.0×10^3 N. ما الحدُّ الأدنى بالكيلوواتِ للقدرةِ التي يجبُ أن ينقلَها المحرِّكُ إلى المصعدِ كي يتحرَّكَ بحمولةٍ كاملةٍ وبسرعةِ 3.00 m/s؟
2. تتسارعُ سيّارةٌ كتلتُها 1.5×10^3 kg من السكونِ إلى سرعةِ 18.0 m/s خلالَ 12.0 s. ما متوسِّطُ قدرةِ المحرِّك، علمًا أنَّ السيارةَ تتعرَّضُ لمقاومةٍ ثابتةٍ مقدارُها 400.0 N؟
3. تحتوي سحابةٌ ماطرةٌ على 2.66×10^7 kg من بخارِ الماء. كم من الزمنِ يلزمُ مضخَّةً قدرتُها 2.00 kW لترفعَ كميةَ الماءِ نفسَها إلى ارتفاعِ السحابِ البالغِ 2.00 km؟
4. كم يلزمُ من الزمنِ لمحرِّكٍ بخاريٍّ قدرتُه 19 kW ليبذُلَ شغلاً مقدارُهُ 6.8×10^7 J؟
5. تتسارعُ سيارةٌ كتلتُها 1.50×10^3 kg بانتظامٍ من حالةِ السكونِ إلى سرعةِ 10.0 m/s خلالَ 3.00 s.
   أ. ما مقدارُ الشغلِ المبذولِ على السيارةِ خلالَ هذه الفترة؟
   ب. ما القدرةُ التي أنتَجَها المحرِّكُ خلالَ هذه الفترة؟

مراجعةُ القسم 4-4

1. يتسلَّقُ متعلِّمٌ كتلتُهُ 50.0 kg حبلاً مسافةَ 5.00 m بسرعةٍ ثابتة. كم يلزمُهُ من الزمنِ إذا كانت قدرتُهُ الإنتاجيةُ 200.0 W ؟ ما مقدارُ الشغلِ الذي يبذلُهُ المتعلِّم؟
2. رافعةٌ بمحرِّكٍ ترفعُ المتعلِّمَ في السؤالِ 1 مسافةَ 5.00 m بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها 1.25 m/s. ما قدرةُ المحرِّكِ الإنتاجيةُ أثناءَ رفعِ المتعلِّم؟ ما مقدارُ الشغلِ الذي يبذلُهُ المحرِّكُ على المتعلِّم؟
3. ما العلاقةُ بين الطاقةِ والقدرةِ والزمن؟

مِهَنُ الفيزياء

مصمِّمُ سيّاراتِ السكّةِ الأفعوانيَّة

كما يدلُّ اسمُها، فإنَّ سيّاراتِ السكّةِ الأفعوانيَّةِ تنزلقُ على مساراتٍ معيَّنة. يقومُ محرِّكٌ برفعِ السيّاراتِ إلى أعلى منحنى مرتفعٍ عندَ بدايةِ رحلتِها. بعدَها، تنزلقُ السيّاراتُ تحتَ تأثيرِ الجاذبيَّةِ والقصورِ الذاتيّ. ولدى انزلاقِها، تكتسبُ هذه السيّاراتُ السرعةَ اللازمةَ لتدورَ في مساراتِها ومنحنياتِها الرأسيَّةِ المتبقِّية. لتعرفَ المزيدَ عن تصميمِ السيّاراتِ الأفعوانيَّة، اقرأْ هذه المقابلةَ مع ستيف أوكاموتو.



يبلغُ ارتفاعُ أعلى نقطةٍ في سكّةِ السيّاراتِ الأفعوانيَّةِ في الرسمِ 63 m فوقَ الأرضِ وأقصى سرعةٍ لها تتجاوزُ 118 km/h.

كيف أصبحْتَ مصمِّمًا للسيّاراتِ الأفعوانيَّة؟

كنتُ معجبًا بسيّاراتِ السكّةِ الأفعوانيَّةِ منذ ركوبي الأوَّلِ بها في مدينةِ ديزني عندَما كنتُ صغيرًا. أذكرُ أنَّ والدتي كانَتْ مستاءةً منّي لأنَّني كنتُ دائمًا أُخرجُ رأسي من السيّارة وأنظرُ إلى الجانبَيْن لأفهمَ طريقةَ عملِ هذه السيّاراتِ. قادني اهتمامي بفهمِ طبيعةِ عملِ الآلاتِ إلى دراسةِ الهندسةِ الميكانيكيَّة.

ما خبرةُ التدريبِ التي حصلْتَ عليها؟

حصلْتُ على شهادةٍ في تصميمِ الإنتاج. وللحصولِ على هذه الشهادةِ درستُ الهندسةَ الميكانيكيَّةَ والرسمَ الفنّيّ. يدرسُ مصمِّمو الإنتاجِ أشكالَ الأجسامِ وطرائقَ عملِها. كما يأخذون في الاعتبارِ اهتماماتِ وقدراتِ الزبونِ المهتمِّ بالمنتَج. لكلٍّ من مدُنِ الملاهي فكرةٌ وهدفٌ عامٌّ، لذلك عليَّ مراعاةُ أهدافِ السوقِ واهتماماتِه عندَما أقومُ بأيِّ تصميم.

ما طبيعةُ عملِك؟

عندَ تصميمي للسيّارةِ الأفعوانيَّة، أقومُ بدراسةِ خرائطِ الموقع. بعدَها أذهبُ إلى مدينةِ الملاهي لمعاينةِ الموقعِ بشكلٍ فعليّ. ولأنَّ معظمَ الألعابِ التي أصمِّمُها تختصُّ بمدُنِ الملاهي القديمة، فإنَّ إضافةَ سكّةٍ جديدةٍ بينَ الألعابِ والمباني الموجودة أصلاً، يشكِّلُ أكبرَ التحدّياتِ التي أصادفُها. كما عليَّ أن أراعيَ طريقةَ عملِ الأجزاءِ المختلفةِ من اللعبةِ بعضِها مع بعض. وتبقى أن تكونَ المباني والإنشاءاتُ التي ستتحمَّلُ هذه السيّارات من القوَّةِ والثباتِ بحيثُ تتحمَّلُ السيّاراتِ وهي بكاملِ حمولتِها من الأشخاصِ وبأقصى سرعتِها. كما يجبُ تزويدُ السيّاراتِ بعجلاتٍ خاصَّةٍ تؤكِّدُ التصاقَها الدائمَ بمساراتِها الخاصَّة، وبأحزمةِ أمانٍ أو قضبانٍ تثبِّتُ الركّابَ في أماكنِهم. العمليَّةُ شبيهةٌ بتركيبِ أحجيَّةٍ، إلاّ أنَّ أجزاءَها لم تقطعْ بعد.

ما النصيحةُ التي تقدِّمها إلى الطلاّبِ المهتمّين بتصميمِ السيّاراتِ الأفعوانيَّة؟

إنَّ دراسةَ الرياضيّاتِ والعلومِ شيءٌ مهمٌّ جدًّا. من أجلِ أن تصمِّمَ مسارًا أفعوانيًّا ناجحًا، عليكَ أن تفهمَ كيفيَّةَ انتقالِ الطاقةِ من شكلٍ إلى آخرَ خلالَ تحرُّكِ السيّارةِ. على السيّاراتِ اكتسابَ سرعاتٍ عاليةٍ تمكِّنُها من تسلُّقِ المرتفعاتِ اللاحقة! أعتمدُ على معلوماتي في الهندسةِ والفيزياءِ لتصميمِ مساراتِ السكك وحلقاتِها.

ملخّصُ الفصل 4

أفكارٌ أساسية

القسم 4-1 الشغل

- يُبذلُ شغلٌ على جسمٍ تحت تأثيرِ محصِّلةِ قوّةٍ عندما تتسبَّبُ هذه القوّةُ في إزاحةِ الجسمِ باتّجاهِ إحدى مركّباتِها.
- إنَّ كمّيةَ الشغلِ المبذولِ على جسمٍ معيَّنٍ تُعطى بالمعادلةِ التالية: $W = Fd(\cos\theta)$
حيث θ هي الزاويةُ بينَ القوّةِ المطبَّقةِ $\vec{F}$ والإزاحةِ $\vec{d}$.

القسم 4-2 الطاقة

- للأجسامِ المتحرِّكةِ طاقةٌ حركيةٌ بسببِ كتلتِها وسرعتِها.
- يساوي الشغلُ الكلّيُّ الذي يبذلُه الجسمُ التغيُّرَ في طاقتِه الحركيَّة.
- تقترنُ طاقةٌ كامنةٌ لجسمٍ معيَّنٍ بموقعِه. يناقشُ الفصلُ شكلَيْنِ من أشكالِ الطاقةِ الكامنةِ هما: الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ والطاقةُ الكامنةُ المرونية.

القسم 4-3 حفظُ الطاقة

- يمكنُ لشكلِ الطاقةِ أن يتغيَّرَ، لكنَّ الطاقةَ لا تُستحدَثُ ولا تَفنى.
- الطاقةُ الميكانيكيةُ هي مجموعُ الطاقتَيْنِ الحركيَّةِ والكامنةِ لموقعٍ معيَّن.
- في غيابِ الاحتكاكِ تكونُ الطاقةُ الميكانيكيةُ محفوظةً، لذلك تبقى قيمتُها ثابتة.

القسم 4-4 القدرة

- القدرةُ هي المعدَّلُ الزمني للقيامِ بشغلٍ أو المعدَّلُ الزمني لانتقالِ الطاقة.
- الآلاتُ التي لها معدَّلاتُ قدرةٍ مختلفةٌ تقومُ بمقدارِ الشغلِ نفسِه في فتراتٍ مختلفة.

مصطلحاتٌ أساسية

الشُّغل Work (ص 106)

الطاقةُ الحركية Kinetic energy (ص 110)

الجول Joule (ص 110)

علاقةُ الشغل – الطاقةِ الحركية Work-energy theorem (ص 112)

الطاقةُ الكامنة Potential energy (ص 115)

الطاقةُ الكامنةُ الجذبية Gravitational potential energy (ص 115)

الطاقةُ الكامنةُ المرونية Elastic potential energy (ص 116)

ثابتُ الزنبرك Spring constant (ص 116)

الطاقةُ الميكانيكية Mechanical energy (ص 120)

القدرة Power (ص 125)

رموزُ المتغيِّرات

الكميّة	الوحدة	التحويل
W الشغل	J جول	$J = N{\cdot}m = kg{\cdot}m^2/s^2$
KE الطاقةُ الحركية	J جول	
PE_g الطاقةُ الكامنةُ الجذبية	J جول	
PE_e الطاقةُ الكامنةُ المرونية	J جول	
P القدرة	W واط	$W = J/s$



مراجعةُ الفصل 4

راجعْ وقيِّمْ

الشغل

أسئلةُ مراجعة

1. هل يمكنُ أن تتغيرَ سرعةُ جسمٍ إذا كانَتْ محصِّلةُ الشغلِ عليهِ صفرًا؟

2. ناقشْ وجودَ أو عدمَ وجودِ شغلٍ مبذولٍ، وما إذا كانَ الشغلُ في حالِ وجودِهِ سالبًا أو موجبًا، لكلٍّ من الحالاتِ التالية:

أ. مزارعٌ يحرثُ الأرض.

ب. متعلِّمٌ يدرس.

ج. رافعةٌ ترفعُ برميلَ إسمنت.

د. قوّةُ الجاذبيةِ على البرميلِ في الفرعِ (ج) أثناءَ رفعِه.

3. ينقلُ العمّالُ مفروشاتٍ على منحدرٍ بين الأرضِ ومؤخرِ الشاحنة. يزعمُ أحدُهُم أنَّ كمّيةَ الشغلِ المبذولِ تقلُّ على منحدرٍ أطول، حيثُ الزاويةُ مع الأفقيِّ أقلّ. هل يصحُّ هذا الزعم؟ اشرحْ.

أسئلةٌ حول المفاهيم

4. يتأرجحُ رقّاصُ ساعةٍ يمينًا ويسارًا كما هو مبيَّنٌ في **الشكل 4-15**. هل تَبذلُ قوّةُ الشدِّ في الرقّاصِ أيَّ شغلٍ عليه؟ هل تبذلُ الجاذبيةُ أيَّ شغلٍ عليه؟ اشرحْ.



الشكل 4-15

5. يضغطُ سائقا سيّارتَيْنِ متشابهتَيْنِ متجهتَيْنِ الواحدةُ نحو الأخرى مكابحَهُما في اللحظةِ نفسِها. يتبيَّنُ أنَّ أثرَ انزلاقِ إطاراتِ إحداهُما أطولُ مرَّتَيْنِ من أثرِ انزلاقِ إطاراتِ الأخرى. ماذا تستنتجُ عن حركةِ السيّارتَيْن، مع الافتراضِ أنَّ قوةَ المكابحِ في السيّارتَيْنِ متساوية؟

6. هل يبذلُ لاعبُ كرةِ القدمِ شغلاً على الكرةِ عند ركلِها وأثناءَ التماسِّ بينَ قدمِهِ وبينها؟ هل يبذلُ اللاعبُ شغلاً على الكرةِ بعد أن تُفلتَ من قدمِه؟ هل هناكَ قِوًى تَبذلُ شغلاً على الكرةِ بعدَ أن تصبحَ الكرةُ طليقةً في الهواء؟

تمارينُ تطبيقية

7. يرفعُ شخصٌ قالَبَ إسمنتٍ كتلتُهُ 4.5 kg مسافةَ 1.2 m رأسيًّا. ثم يسيرُ به أفقيًّا مسافةَ 7.3 m، حدِّدِ الشغلَ الذي يبذلُهُ كلٌّ من الشخصِ وقوّةِ الجاذبيةِ في هذه العملية.

8. طائرةٌ مصمَّمةٌ للإقلاعِ الرأسيِّ، كتلتُها 8.0×10^3 kg، تُقلِعُ إلى أعلى بتعجيلٍ مقدارُهُ $1.0\ m/s^2$. جِدْ مقدارَ الشغلِ الكلّيِّ المؤثِّرِ في الطائرةِ بعدَ ارتفاعِها مسافةَ 30.0 m بدءًا من حالةِ السكون؟

9. ترتدُّ يدُ لاعبِ البيسبول عندَ التقاطِهِ الكرةَ مسافةَ 10.0 cm إلى الوراءِ تحتَ تأثيرِ قوةِ الكرةِ البالغةِ 475 N. ما مقدارُ الشغلِ الذي تبذلُهُ الكرة؟

10. تجرُّ مضيفةُ طيرانٍ حقيبةً وزنها 70.0 N بسرعةٍ ثابتةٍ مسافةَ 253 m على أرضِ المطارِ المستوية. تطبِّقُ المضيفةُ لأجلِ ذلك قوّةً مقدارُها 40.0 N بزاويةِ $52.0°$ فوقَ السطحِ الأفقيِّ، جِدْ:

أ. الشغلَ الذي تبذلُهُ المضيفةُ على حقيبتِها.

ب. الشغلَ الذي تبذلُهُ قوّةُ الاحتكاك.

ج. مُعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ الحقيبةِ والأرض.

الطاقة

أسئلةُ مراجعة

11. يُسقِطُ شخصٌ كرةً من أعلى مبنًى فيما يراقبُ شخصٌ آخرُ على الأرضِ حركةَ الكرة. هل يتفقُ هذانِ الشخصانِ، كلٌّ من موقعِه، دائمًا على:

أ. الطاقةِ الكامنةِ للكرة.

ب. التغيُّرِ في الطاقةِ الكامنةِ للكرة.

ج. الطاقةِ الحركيةِ للكرة.

12. هل يمكنُ للطاقةِ الحركيةِ لجسمٍ أن تكونَ سالبة؟ اشرحْ جوابَك.

13. هل يمكنُ للطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ لجسمٍ أن تكونَ سالبة؟ اشرحْ جوابَك.

14. ما نسبةُ الطاقتَيْن الحركيَّةِ لجسمَيْنِ متشابهَيْنِ يتحرَّكانِ بسرعتَيْنِ مقدارُهما 5.0 m/s و 25.0 m/s؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

15. لماذا يكونُ شغلُ جاذبيةِ الأرضِ على قمرٍ صناعيٍّ يدورُ في مدارٍ دائريٍّ حولَ الأرضِ صفرًا؟ ماذا تفيدُك علاقةُ الشغلِ – الطاقةِ الحركيةِ حولَ مقدارِ سرعةِ القمرِ الصناعيّ؟

16. تنزلقُ سيّارةٌ مسافةَ 35 m من جرّاءِ تطبيقِ مكابحِها بعد أن كانتْ تسيرُ بسرعةِ 50.0 km/h. قدِّرْ مسافةَ الانزلاقِ في حالِ كانتْ سرعتُها الابتدائيةُ 100.0 km/h عندَ الدوسِ على المكابح. ماذا يحدثُ للطاقةِ الحركيةِ للسيارةِ أثناءَ توقُّفِها؟

17. اشرحِ النصَّ التالي: لماذا تكونُ الطاقةُ المبذولةُ لدى نزولِ درجٍ أكبرَ من الطاقةِ اللازمةِ للمشيِ أفقيًّا بالسرعةِ نفسِها؟

18. تقلِّلُ قوَّةُ الاحتكاكِ الحركيِّ من الطاقةِ الحركيةِ لجسمٍ معيَّن. كيف يمكنُ لعلاقةِ الشغلِ–الطاقةِ الحركيَّةِ أن تفسِّرَ ذلك؟

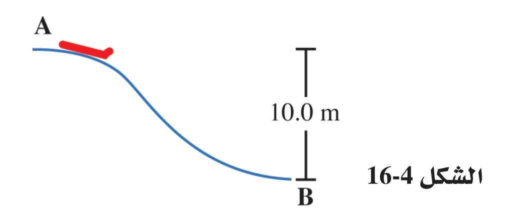
مسائلُ تطبيقية

19. احسبْ الطاقةَ الحركيةَ لسيارةٍ كتلتُها 1250 kg وتسيرُ بسرعةِ 11 m/s؟

20. ما السرعةُ اللازمةُ لطيرانِ ذبابةٍ كتلتُها 0.55 g كي تكتسبَ الذبابةُ الطاقةَ الحركيةَ نفسَها للسيّارةِ في التمرين 19؟

21. يرمي غطّاسٌ كتلتُهُ 50.0 kg بنفسِهِ عن لوحِ الغطسِ مباشرةً إلى الماءِ الذي يؤثرُ فيه بقوةِ مقاومةٍ مقدارُها 1500 N، وهو ما يجعلُهُ يستقرُّ على عمقِ 5.0 m. ما المسافةُ الكلِّيةُ بينَ لوحِ الغطسِ والنقطةِ التي توقَّفَ عندَها الغطّاسُ تحتَ الماء؟

22. أثناءَ عرضٍ للسيرك، يُرفَعُ قردٌ على مزلاجٍ إلى أعلى منحدَرٍ يميلُ بزاويةِ 25° مع المستوي الأفقيِّ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 4.0 m/s. إذا كانَ مُعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين المزلاجِ والمنحدَرِ 0.20 وكتلةُ القردِ والمزلاجِ معًا 20.0 kg، فما المسافةُ التي يقطعُها المزلاجُ على المنحدر؟



الشكل 4-16

23. يقفُ متزلِّجٌ كتلتُهُ 55 kg في أعلى منحدَرٍ عند النقطةِ A على ارتفاعِ 10.0 m من النقطةِ B التي في أسفلِ المنحدر، كما في **الشكل 4-16**.

أ. افترضْ أنَّ المستوى الصفريَّ للطاقةِ الكامنةِ الجذبيةِ هو عندَ النقطةِ B. بناءً عليه، جدِ الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ للمتزلِّجِ عندَ النقطةِ A وعندَ النقطةِ B، ثمَّ جدِ الفرقَ في الطاقةِ الكامنةِ بين هاتَيْنِ النقطتَيْن.

ب. أجبْ عن الفرعِ (أ) متَّخذًا النقطةَ A كمستوٍ صفريّ.

24. عُلِّقَتْ كرةٌ كتلتُها 2.00 kg بحبلٍ طولُهُ 1.00 m في سقفِ غرفةٍ يرتفعُ 3.00 m. ما الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ للكرةِ بالنسبةِ إلى:

أ. السقف.

ب. الأرض.

ج. نقطةٍ على ارتفاعِ الكرةِ نفسِها.

25. بيِّنْ أنَّ الطاقةَ الكامنةَ المختزَنةَ في نابضٍ ثابتُه 500.0 N/m هي:

أ. 0.400 J عندَما تكونُ استطالتُهُ 4.00 cm من حالةِ الاتِّزان.

ب. 0.225 J عندَما يكونُ انضغاطُهُ 3.00 cm من حالةِ الاتِّزان.

ج. صفرٌ عندَما يكونُ النابضُ في حالةِ الاتِّزان.

حفظُ الطاقةِ الميكانيكية

أسئلةُ مراجعة

26. ما شكلُ الطاقةِ المختزَنةِ (ميكانيكيٌّ، غيرُ ميكانيكيّ، خليطٌ من الاثنين) في كلٍّ من الحالاتِ التالية؟

أ. جمرٌ متّقدٌ في نارِ مخيَّم.

ب. رياحٌ عاتية.

ج. رقّاصُ ساعةٍ متأرجح.

د. شخصٌ جالسٌ على أريكة.

هـ. صاروخٌ يجري إطلاقُهُ إلى الفضاء.

27. ناقشْ تحوُّلاتِ الطاقةِ التي تحدُثُ أثناءَ القفزِ بالزانةِ كما في **الشكل 4-17** مهمِلاً حركةَ الدورانِ ومقاومةَ الهواء.



الشكل 4-17

28. تتدلّى كرةُ مضربٍ من سقفِ غرفةِ محاضراتٍ بوساطةِ حبلٍ متين. تُقرَّبُ الكرةُ من أنفِ محاضرٍ يقفُ في مقدَّمِ الغرفة، ثم تُترَك. إذا بقيَ المحاضرُ في مكانِه، اشرحْ لماذا لا ترتطمُ الكرةُ به عند عودتِها. هل يكونُ المحاضرُ في مأمنٍ من الكرةِ لو أنها أُعطيتْ سرعةً أوَّليةً عندَ إفلاتِها أمامَ أنفِه؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

29. ناقش الشغلَ المبذولَ والتغيُّرَ في الطاقةِ الميكانيكيةِ عندَما يقومُ رياضيٌّ بما يلي:

أ. يرفعُ أثقالاً.

ب. يحملُ ثقلاً على ارتفاعٍ ثابت.

ج. يُنزِلُ الثقلَ ببطء.

30. رُميتْ كرةٌ رأسيًّا إلى أعلى. عند أيِّ ارتفاعٍ تبلغُ طاقتُها الحركيَّة حدَّها الأقصى؟ عند أيِّ ارتفاعٍ تبلغُ طاقتُها الكامنة الجذبيةُ حدَّها الأقصى؟

31. ينُصُّ إعلانٌ لتسويقِ إحدى كراتِ اللعبِ على أنها ترتدُّ بعد إسقاطِها إلى ارتفاعٍ أعلى من الذي رُمِيَتْ منه. هل هذا ممكن؟ اشرحْ.

32. يُعلَّق جسمٌ بنابض يتدلّى رأسيًّا من سقفِ غرفة. يُسحَبُ الجسمُ قليلاً إلى أسفل، ثم يُترَكُ ليتأرجحَ صعودًا ونزولاً. كم شكلاً من أشكالِ الطاقةِ الكامنةِ يوجدُ في هذهِ الحالة؟ هل تكونُ الطاقةُ الميكانيكيةُ محفوظةً في غيابِ مقاومةِ الهواءِ والاحتكاك؟ اشرحْ.

مسائلُ تطبيقية

33. ولدٌ ومزلاجٌ كتلتُهما معًا 50.0 kg ينزلقانِ من حالِ السكونِ من دونِ احتكاكٍ نزولاً إلى أسفلِ تلَّةٍ يبلغُ ارتفاعُها 7.34 m. ما سرعتُهما في أسفلِ التلَّة؟

34 يتأرجحُ رياضيٌّ من طرفِ حبلٍ طولُهُ 30.0 m بدءًا من زاويةِ $37.0°$ مع العمود. ما سرعتُهُ في أسفلِ المسارِ إذا بدأ حركتَهُ:

أ. من حالةِ السكون؟

ب. بعد أن دفعَ نفسَهُ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها 4.00 m/s؟

القدرة

تمارينُ تطبيقية

35. احسبِ الزمنَ اللازمَ لمحرِّكٍ قدرتُهُ المنتِجةُ 50.0 hp ليبذلَ شغلاً مقدارُه 6.40×10^5 J. $(1\ hp = 746\ W)$

36. تتدفّقُ المياهُ في جزءٍ من شلالاتِ نياجرا بمعدَّلِ 1.2×10^6 kg/s ومن ارتفاعِ 50.0 m. ما القدرةُ الناتجةُ من سقوطِ المياه؟

مراجعةٌ عامَّة

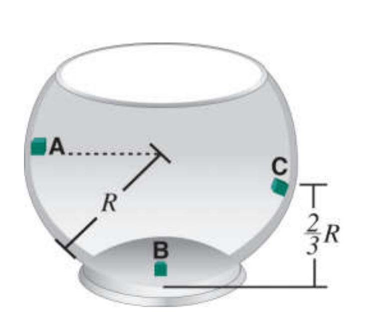
37. يُترَكُ جُسَيْمٌ كتلتُه 215 g يتحرّك من السكونِ عندَ النقطةِ A داخلَ إناءٍ نصفِ كرويٍّ أملسَ، يبلغُ نصفُ قُطرِهِ 30.0 cm، كما في **الشكل 4-18**. احسبْ:

أ. الطاقةَ الكامنةَ الجذبيةَ عندَ النقطةِ A بالنسبةِ إلى B

ب. الطاقةَ الحركيةَ للجُسَيم عندَ النقطةِ B

ج. سرعةَ الجُسَيمِ عندَ النقطةِ B

د. الطاقتَيْن الحركيةَ والكامنةَ عندَ النقطةِ C



الشكل 4-18

38. يتمرَّنُ شخصٌ وزنُهُ 700.0 N عدا ذراعيهِ، فيدفعُ جسمَهُ إلى أعلى ممسكًا بقضيبٍ أفقيٍّ ثابت. تطبِّقُ كلُّ ذراعٍ قوّةً مقدارُها 355 N على الجذعِ خلالَ الـ 25.0 cm الأولى من دفعِ جسمه. ما سرعةُ الشخصِ عندَ هذا الارتفاعِ إذا بدأ حركتَهُ من السكونِ؟

39. يركضُ رياضيٌّ كتلتُهُ 50.0 kg بسرعةِ 10.0 m/s متحفِّزًا للقفزِ فوقَ العارضة. جِدِ ارتفاعَ قفزتِهِ، مهملاً مقاومةَ الهواء، إذا كانَتِ المركَّبةُ الأفقيةُ لسرعتِهِ عندَ اجتيازِ العارضة 1.0 m/s.

40. يُسحَبُ صندوقُ ملابسَ وزنُهُ 80.0 N مسافةَ 20.0 m إلى أعلى منحدرٍ زاويتُه 30.0° فوقَ الأفقيِّ بقوّةٍ موازيةٍ للمنحدَرِ مقدارُها 115 N. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الصندوقِ والمنحدَرِ 0.22، احسبِ التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيةِ للصندوق.

41. يتأرجحُ جان وجوان، وكتلتُهما معًا 130.0 kg، من نهايةِ حبلٍ طولُهُ 5.0 m بدءًا من زاويةِ 30.0° مع الأفقيّ. جوان وكتلتُهُ 50.0 kg، يُفلتُ عندَ أسفلِ المسارِ، بينَما يُكمِلُ جانُ تأرجحَه. ما أقصى ارتفاعٍ يصلُ إليه جان؟ (طاقتا جان وجوان كمّيتانِ منفصلتان.)

42. يضغطُ قالَبٌ كتلتُهُ 0.250 kg نابضًا ثابتُه 5.00×10^3 N/m مسافةَ 0.100 m إلى أسفل. عندَ إفلاتِه يندفعُ القالَبُ رأسيًّا إلى أعلى. ما أقصى ارتفاعٍ يصلُهُ بدءًا من نقطةِ الإفلاتِ؟

43. يرمي مهرِّجٌ ثلاثَ كراتٍ بسرعاتٍ ابتدائيةٍ لها المقدارُ نفسُهُ بحيثُ تكونُ سرعةُ الأولى أفقية، وسرعةُ الثانيةِ تميلُ بزاويةٍ معيَّنةٍ فوقَ الأفقيّ، وسرعةُ الثالثةِ بزاويةٍ أخرى تحتَ الأفقيّ. صفْ حركةَ كلٍّ من الكراتِ الثلاثِ مهملاً مقاومةَ الهواء، وقارنْ بينَ مقاديرِ سرعاتِها عندَ وصولِها إلى الأرض؟

44. كرةٌ مطّاطيةٌ، كتلتُها 0.60 Kg، وسرعتُها 2.0 m/s عندَ النقطةِ A، وطاقةُ حركتِها 7.5 J عندَ النقطةِ B. احسب:

أ. الطاقةَ الحركيةَ للكرةِ عندَ النقطةِ A.

ب. مقدارَ سرعةِ الكرةِ عندَ النقطةِ B.

ج. الشغلَ الكلّيَّ المبذولَ على الكرةِ أثناءَ تحرُّكِها من A إلى B.

45. ينزلقُ قالَبٌ كتلتُهُ 5.0 kg من حالةِ السكونِ على منحدرٍ خشنٍ زاويتُه 30.0° مسافةَ 2.5 m لمدةِ 2.0 s. احسبْ:

أ. الشغلَ الذي تبذُلُهُ قوّةُ الجاذبية.

ب. الطاقةَ الميكانيكيةَ الضائعةَ بسببِ الاحتكاك.

ج. الشغلَ الذي تبذُلُهُ القوةُ العموديةُ على القالَب.

46. ما الشغلُ المطلوبُ بذلُه لسحبِ متزلِّجٍ كتلتُه 70.0 kg مسافةَ 60.0 m بوساطةِ سلكٍ يُشَدُّ بمحرِّكٍ صعودًا إلى أعلى منحدَرٍ غيرِ احتكاكيٍّ زاويتُه 35° وبسرعةِ 2.0 m/s؟

47. ينزلقُ متزلِّجٌ نزولاً على منحدرٍ غيرِ احتكاكيٍّ من ارتفاعِ 50.0 m فوقَ مستوى الأرض. يقفزُ المتزلِّجُ مسارَهُ عندَ وصولِهِ إلى ارتفاعِ 10.0 m بزاويةِ 45.0° فوق الأفقيّ. مع إهمالِ مقاومةِ الهواء:

أ. ما سرعةُ المتزلِّجِ عندَ تركِهِ المسارَ؟

ب. ما الارتفاعُ الأقصى الذي يبلُغُهُ؟

48. تنزلقُ حقيبةُ أمتعةٍ كتلتُها 10.0 kg بدءًا من حالةِ السكونِ مسافةَ 3.00 m على منحدَرٍ غيرِ احتكاكيٍّ بزاويةِ °30.0 مع الأرضِ، وتتابعُ بعدَ ذلكَ انزلاقَها مسافةَ 5.00 m على أرضٍ أفقيةٍ قبلَ أن تتوقَّف. جِدِ التالي:

أ. مقدارَ سرعةِ الحقيبةِ في أسفلِ المنحدَر

ب. مُعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين الحقيبةِ والأرض

ج. التغيُّرَ في الطاقةِ الميكانيكيةِ الناتجَ من الاحتكاك

49. يُضغطُ نابضٌ خفيفٌ، ثابتُهُ 105 N/m، أفقيًّا مسافةَ 0.100 m عندَ ضغطِ أحدِ طرفَيْهِ بقالَبٍ كتلتُهُ 2.00 kg. إذا تحرَّكَ القالَبُ بعدَ انطلاقِهِ مسافةَ 0.250 m، ما معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ القالَبِ والسطحِ الأفقيّ؟

50. يُدفَعُ قالَبٌ كتلتُهُ 5.0 kg مسافةَ 3.0 m إلى أعلى، وبسرعةٍ ثابتةٍ على جدارٍ عموديٍّ تحت تأثيرِ قوةٍ ثابتةٍ تميلُ بزاويةِ °30.0 مع الأفقيِّ، كما في **الشكل 19-4**. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بين القالبِ والجدار 0.30، جِدِ التالي:

أ. الشغلَ المبذولَ من القوةِ على القالَبِ

ب. الشغلَ المبذولَ من الجاذبيةِ على القالب

ج. مقدارَ القوةِ العموديةِ بين القالَبِ والجدار

$\vec{F}$ θ d

الشكل 19-4

51. تُترَكُ أرجوحةٌ يجلِسُ فيها ولدٌ كتلتُهُ 25 kg وطولُ حبلِها 2.0 m من حالةِ السكونِ ومن زاويةِ °30.0 مع العمود.

أ. ما الطاقةُ الكامنةُ القصوى؟

ب. مع إهمالِ الاحتكاكِ، ما مقدارُ سرعةِ الولدِ عند أدنى نقطةٍ لمسارِه؟

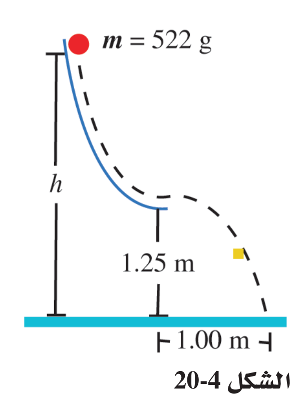
ج. مع وجودِ الاحتكاكِ، ما هو التغيُّرُ في الطاقةِ الميكانيكيةِ إذا كانَ مقدارُ سرعةِ الولدِ عند النقطةِ الأدنى 2.00 m/s؟

52. تبدأُ كرةٌ، كتلتُها 522 g، حركتَها من حالةِ السكونِ وتنزلقُ إلى أسفلِ مسارٍ غيرِ احتكاكيٍّ، كما في **الشكل 20-4**، ثم تُفلِتُ من المسارِ أفقيًّا وترتطمُ بالأرض.

أ. من أيِّ ارتفاعٍ عن مستوى الأرضِ بدأتِ الكرةُ حركتَها؟

ب. ما مقدارُ سرعةِ الكرةِ عند إفلاتِها من المسار؟

ج. ما مقدارُ سرعةِ الكرةِ عند ارتطامِها بالأرض؟



الشكل 20-4

المشاريع والتقارير

1. صمِّمْ تجاربَ لقياسِ قدرتِكَ الإنتاجيةِ عندَ القيامِ بضغطاتٍ صدرية، أو لدى صعودِ السلالمِ جريًا، أو دفعِ سيارةٍ، أو تحميلِ صناديقَ في شاحنة، أو رميِ كرةِ البيسبول، أو القيامِ بأيِّ نشاطاتٍ تستدعي تحويلَ الطاقة. ما الكمّياتُ التي يجبُ قياسُها أو حسابُها؟ شكِّلْ مجموعاتٍ لتقديمِ خططِكَ ومناقشتِها، ثم ابدأْ بالتجاربِ فورَ موافقةِ معلِّمِكَ على هذه الخطط.

2. ابحثْ عن كمّيةِ الطاقةِ الحركيةِ لسيارةِ والدِكَ عندما يكونُ مقدارُ سرعتِها 60 km/h ، 50 km/h ، 40 km/h، 30 km/h، 20 km/h و 10 km/h. (ملاحظة: تحقَّقْ من كتلةِ سيارةِ والدِكَ في دليلِ المالك.) ما مقدارُ الشغلِ الذي يجبُ على نظامِ المكابحِ أن يبذلَهُ لإيقافِ السيّارةِ مع كلٍّ من هذه السرعات؟

إذا كانَ دليلُ المالكِ يحتوي على قائمةٍ لمسافاتِ الفرملةِ عند سرعاتٍ مختلفةٍ، جدِ القوةَ التي ينبغي أن يطبِّقَها نظامُ المكابح. رتِّبِ النتائجَ في رسوماتٍ بيانيةٍ وجداولَ لمناقشةِ النتائجِ وتقويمِها.

3. تحرَّ أمرَ تحولاتِ الطاقةِ في جسدِكَ أثناءَ تأرجُحِكَ في أرجوحة. بالعملِ مع شريكٍ لك، قِسِ ارتفاعَ الأرجوحةِ عند نقطتَيِ ارتفاعِها القصوى والدنيا. أيُّ النقطتَيْنِ تتضمَّنُ طاقةً كامنةً جذبيةً قصوى؟ أيُّ النقطتَيْنِ تتضمَّنُ طاقةً حركيةً قصوى؟ اخترْ ثلاثَ نقاطٍ أخرى في مسارِ الأرجوحةِ واحسُبْ في كلٍّ منها الطاقتَيْنِ الكامنةَ الجذبيةَ والحركيةَ ومقدارَ السرعة. رتِّبِ النتائجَ في رسوماتٍ أعمدةٍ بيانية.

4. صمِّمْ تجربةً للتحقُّقِ من قانونِ حفظِ الطاقةِ الميكانيكيَّةِ لسيّارةٍ-لعبة، تنزلقُ على منحدر. استعملْ لوحًا يُرفعُ أحدُ جانبيْه بوساطةِ مجموعةٍ من الكتبِ التي توضعُ تحتَه. للحصولِ على السرعةِ النهائيَّةِ للسيّارة، استخدمْ معادلةَ السرعةِ النهائيَّةِ = 2 (السرعة المتوسّطة) = 2 (طول المنحدر/الزمن). حاولِ التنبُّؤَ ببعضِ ما تتوقَّعُه. هل ستكونُ الطاقةُ الحركيَّةُ للسيّارةِ عندَ أسفلِ المنحدرِ مساويةً لطاقتِها الكامنةِ عندَ أعلاه؟ إذا كانَ الجواب لا فأيّهما يكونُ أكبر؟ تحقَّقْ من صحَّةِ توقُّعِك بإجراءِ تجاربَ على منحدراتٍ مختلفةِ الارتفاع، واكتب تقريرًا تصفُ فيه تجاربَك ونتائجَك.

5. توفيرًا للوقودِ، اقترحَ مديرُ شركةِ طيرانٍ أن تُجرى التغييراتُ التاليةُ على رَحَلاتِ أكبرِ الطائرات:

أ. الحدُّ من وزنِ أمتعةِ الطاقم
ب. التخلّي عن الوسائدِ والبطّانياتِ والمجلاتِ في الطائرة
ج. خفضُ ارتفاعِ التحليقِ بمعدَّلِ 50%
د. خفضُ سرعةِ الطيرانِ بمعدَّلِ 50%

ابحثْ عن المعلوماتِ الضروريةِ لحسابِ الطاقتَيْنِ الحركيةِ والكامنةِ لطائرةِ ركابٍ كبيرةٍ على وجهِ التقريب. أيٌّ من الاقتراحاتِ أعلاهُ يؤدّي إلى توفيرٍ ملحوظ؟ إلى أيِّ نتائجَ أخرى قد تؤدّي هذه الإجراءات؟ لخِّصِ استنتاجاتِكَ في مداخلةٍ أو تقرير.

6. صمِّمْ جدولاً للطاقاتِ الحركيَّةِ لجسدِك. قِسْ كتلتَكَ وسرعتَكَ أثناءَ السيرِ والهرولةِ والركضِ وركوبِ درّاجةٍ وقيادةِ سيّارة. حضِّرْ لوحةَ عرضٍ لمقارنةِ النتائجِ بيانيًّا.

7. أنتَ تحاولُ بطريقةٍ ما توصيلَ الكهرباء إلى قريةٍ نائيةٍ من أجلِ تشغيلِ مصفاةِ مياه. يتبرَّعُ أحدُهُم بشواحنِ بطارياتٍ متَّصلةٍ بدراجاتٍ لتوليدِ الطاقةِ المطلوبة. ما عددُ الدرّاجاتِ التي يتطلَّبُها تشغيلُ مصفاةِ القريةِ إذا كانَ متوسطُ إنتاجِ كلِّ راكبِ دراجةٍ 100 W وحاجةُ المصفاةِ اليوميةُ 18.6 kW•h؟ كيف تُجدولُ استعمالَ الشواحن؟ لخِّصْ آراءَكَ واقتراحاتِكَ في رسالةٍ موجَّهةٍ إلى المتبرِّع.

8. الكثيرُ من الوحداتِ العلميَّةِ سُمِّيَتْ بأسماءِ علماءَ مشهورين أو مخترعين. فوحدةُ القدرةِ في نظامِ SI وهي الـ Watt سُمِّيَت باسمِ العالِمِ الاسكوتلندي جايمس وات. وكذلك وحدة الطاقةِ (الجول) التي سُمِّيَتْ باسمِ العالِمِ الإنكليزي جايمس جول. استعملْ شبكة الإنترنت أو المراجع المكتبيَّة للتعرُّفِ إلى الإسهاماتِ العلميَّةِ لأحدِ هذَيْنِ العالِمَيْن. اكتبْ تقريرًا قصيرًا بما تجدُه، ثمَّ قدِّمْ تقريرَك أمامَ زملائِك في الصفّ.

تقويمُ الفصل 4

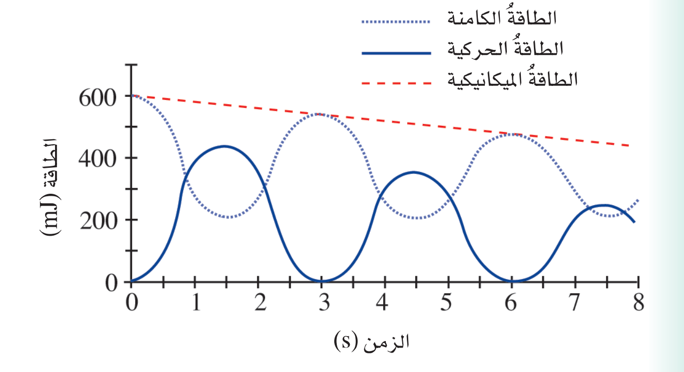
اختيارٌ من متعدِّد

1. أيٌّ من الحالاتِ التاليةِ لا يُبذلُ فيها شغل؟
أ. كرسيٌّ رُفعَ فوقَ سطحِ الأرض.
ب. خزانةٌ مكتبيَّةٌ تُدفعُ على سجّادة.
ج. طاولةٌ تسقطُ على الأرض.
د. مجوعةٌ من الكتبِ تُحملُ على مستوى الخصرِ ويتمُّ التجوالُ فيها في غرفة.

2. أيٌّ من المعادلاتِ التاليةِ تمثِّلُ العلاقةَ الصحيحةَ بينَ القدرةِ والشغلِ والزمن.
أ. W = P/t
ب. W = t/P
ج. P = W/t
د. P = t/W

استعملِ الرسمَ البيانيَّ للإجابةِ عن الأسئلة 3-5.

يُظهرُ الرسمُ طاقةَ «يويو» كتلتها 75 g في أزمنةٍ مختلفةٍ لدى صعودِها وهبوطِها على خيط.



3. ما التغيُّرُ الذي يطرأُ على الطاقةِ الميكانيكيَّةِ لليويو بعد 6 s؟
أ. 500 mJ
ب. 0 mJ
ج. –100 mJ
د. – 600 mJ

4. ما سرعةُ اليويو بعد 4.5 s؟
أ. 3.1 m/s
ب. 2.3 m/s
ج. 3.6 m/s
د. 4.6 m/s

5. ما أقصى ارتفاعٍ لليويو؟
أ. 0.27 m
ب. 0.54 m
ج. 0.75 m
د. 0.82 m

6. سيّارةٌ كتلتُها m تتطلَّبُ شغلاً مقدارُه 5.0 kJ لتحريكِها من السكونِ إلى سرعةٍ نهائيَّة v. إذا تمَّ بذلُ الشغلِ نفسِه خلالَ الزمنِ نفسِه على سيّارةٍ أخرى كتلتُها $2\,m$، فكم تكونُ سرعتُها النهائيَّة؟
أ. $2v$
ب. $\sqrt{2}v$
ج. $v/2$
د. $v/\sqrt{2}$

استعملِ النصَّ التالي للإجابةِ عن السؤالَيْن 7 و 8.

ينزلقُ رجلٌ كتلتُه 70.0 kg وسرعتُه 4.0 m/s على مسارٍ معيَّنٍ إلى أن يتوقَّفَ تمامًا، بحيثُ يكونُ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَه وبينَ المسار 0.70.

7. ما الطاقةُ الميكانيكيَّةُ المهدورةُ نتيجةً لانزلاقِ الرجلِ على المسار؟
أ. 1100 J
ب. 560 J
ج. 140 J
د. 0 J

8. ما المسافةُ التي يقطعُها الرجلُ قبلَ توقُّفِه؟
أ. 0.29 m
ب. 0.57 m
ج. 0.86 m
د. 1.2 m

استعمل النصَّ التالي للإجابةِ على السؤالَيْن 9 و 10.

لميزانٍ نابضٍ ثابتٌ مقدارُه 250 N/m وكفَّةٌ كتلتُها 0.075 kg. خلالَ وزنِ أحدِ الأجسامِ، يستطيلُ النابضُ بمقدارِ 12 cm من موضعِ اتِّزانِه، وعندَ وزنِ جسمٍ آخرَ يستطيلُ بمقدارِ 18 cm.

9. بكَمْ تزيدُ الطاقةُ الكامنةُ المرونيَّةُ للنابضِ عندَ وزنِ الجسمِ الثاني مقارنةً بقيمتِها عندَ وزنِ الجسمِ الأوّل؟

أ. 9/4

ب. 3/2

ج. 2/3

د. 4/9

10. إذا أُفلتَ الجسمُ المتدلّي فجأةً بعدَ الانتهاءِ من عمليَّةِ وزنِه، تتأرجحُ كفَّةُ الميزانِ صعودًا ونزولاً حولَ موضعِ الاتِّزانِ. ما نسبةُ السرعةِ القصوى لكفَّةِ الميزانِ بعدَ وزنِ الجسمِ الثاني مقارنة بقيمتها بعد وزنِ الجسمِ الأوَّل؟ أهملْ وزنَ كفَّةِ الميزان.

أ. 9/4

ب. 3/2

ج. 2/3

د. 4/9

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

11. يصعدُ تلميذٌ كتلتُه 66.0 kg درجًا خلالَ 44.0 s. إذا كانَت المسافةُ من قاعدةِ الدرجِ إلى قمَّتِه 14.0 m، فكم تكونُ قدرةُ المتعلِّمِ خلالَ عمليَّةِ الصعود؟

استعمل المعلومةَ التاليةَ للإجابةِ على السؤالَيْن 12 و 13.

يقفزُ رجلٌ كتلته 75.0 kg من شبّاكٍ يرتفعُ 1.00 m فوقَ الرصيف.

12. اكتبْ معادلةَ سرعةِ الرجلِ عندَ وصولِه إلى الأرض؟

13. احسبْ سرعةَ الرجلِ عندِ وصولِه إلى الأرض؟

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلة

استعملِ المعلوماتِ التاليةَ للإجابةِ على الأسئلة 14-16.

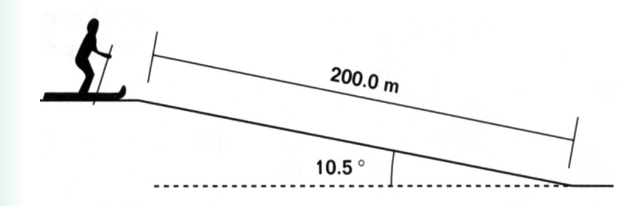
أُطلقَ مقذوفٌ كتلتُه 5.0 kg في الاتِّجاهِ الأفقيِّ على ارتفاع 25.0 m فوقَ أرضٍ صحراويَّةٍ مسطَّحة، بسرعةٍ ابتدائيَّةٍ 17 m/s. احسبْ لحظةَ وصولِ المقذوفِ إلى الأرض:

14. الشغلَ الذي تبذلُه الجاذبيَّةُ على المقذوف.

15. التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيَّة للمقذوفِ منذُ لحظةِ انطلاقِه.

16. الطاقةَ الحركيَّةَ النهائيَّةَ للمقذوف.

17. يبدأُ متزلِّجٌ انزلاقَه من أعلى تلَّةٍ تنحدرُ بزاوية 10.5° مع الأفقيّ. طولُ المنحدرِ 200.0 m ومعاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ الثلجِ والمتزلِّجِ 0.075. عندَ نهايةِ المنحدرِ يصبحُ المسارُ أفقيًّا ويبقى معاملُ الاحتكاكِ ثابتًا. ما المسافةُ التي يقطعُها المتزلِّجُ على المسارِ الأفقيِّ قبل أن يتوقَّف؟





الفصل 5

الزخمُ الخطّيُّ والتصادمات
Linear Momentum and Collisions



يتعيَّنُ على لاعبي كرةِ القدمِ أن يأخذوا في الاعتبارِ الكثيرَ من المعلوماتِ عن حركةِ الكرةِ وأجسامِهم بحيثُ يستطيعونَ اللعبَ بفاعليَّة. يحدِّد اللاعبُ في الصورةِ القوَّةَ التي تحتاجُ إليها الكرةُ ليتمكَّنَ من إيصالِها إلى حيثُ يريد.



ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستقومُ في هذا الفصلِ بتحليلِ الزخمِ الخطّيِّ والتصادماتِ بين جسمَيْن أو أكثر. ستأخذُ في الاعتبارِ كتلةَ وسرعةَ جسمٍ أو أكثرَ وحفظَ الزخمِ الخطّيِّ، وكذلك حفظَ الطاقة.

ما أهميَّتُهُ

التصادماتُ وغيرُها من الظواهرِ المؤثِّرةِ في الزخمِ الخطّيِّ تحدثُ بشكلٍ متكرِّرٍ في حياتِنا اليوميَّة. من الأمثلةِ الرياضيَّةِ على ذلك: حركةُ المضربِ وكرته في لعبةِ كرةِ المضرب، وحركةِ الكرةِ وأجسامِ اللاعبين في كرةِ القدم.

محتوى الفصل 5

الزخمُ الخطّيُّ والدفع

Linear Momentum and Impulse

القسم 1-5

1-5 أهدافُ القسم

- يقارنُ بين الزخمِ الخطّيِّ لأجسامٍ مختلفةٍ متحرِّكة.
- يقارنُ بين الزخمِ الخطّيِّ للجسمِ نفسِه عندما يتحرَّكُ بسرعاتٍ مختلفة.
- يحدِّدُ أمثلةً على تغيُّراتِ الزخمِ الخطّيِّ لجسم.
- يصفُ تغيُّراتِ الزخمِ الخطّيِّ بدلالةِ القوة المطبَّقةِ والزمن.

الزخمُ الخطّيّ

كمّيةٌ اتّجاهيّةٌ تساوي حاصلَ ضربِ كتلةِ جسمٍ في سرعتِه.

ملاحظة: يتضمَّنُ علمُ الميكانيكا زخمًا خطيًّا وآخرَ زاويًّا. في هذا الفصل تنحصرُ دراستنا في الزخمِ الخطّيِّ، ونطلقُ عليه اسمَ «زخم» للتسهيل.

الزخمُ الخطّيّ

عندَما يقومُ لاعبُ كرةِ القدمِ بتسديدةٍ رأسيةٍ، تتغيَّرُ سرعةُ الكرةِ بشكلٍ فجائيٍّ. إن مقدارَ سرعةِ الكرةِ واتّجاهَ حركتِها يتغيَّرانِ بمجرَّدِ ركلِها، بحيثُ تستأنفُ حركتَها في الملعبِ بسرعةٍ يختلفُ مقدارُها واتجاهُها عَمّا كانَتْ عليه قبلَ ركلِها.

يمكنُ استعمالُ الحركةِ ومعادلاتِها، وهو ما جرَت مناقشتُهُ في الفصلِ الأوّلِ، من أجلِ وصفِ حركةِ الكرةِ قبلَ ركلِها وبعدَه. ويمكنُ استعمالُ مفهومِ القوَّةِ وقوانينِ الحركةِ لنيوتن لشرحِ تغيُّرِ حركةِ الكرةِ نتيجةً لركلِها. في هذا الفصلِ ندرسُ التأثيرَ الذي تحدثُهُ قوَّةُ التصادمِ بين الكرةِ واللاعبِ ومدَّةُ التصادمِ، في حركةِ الكرة.

وصفُ الزخمِ الخطّيِّ الخاصِّ بالجسم

يلزمُنا عندَ هذا الحدِّ تعريفُ مفهومٍ فيزيائيٍّ جديدٍ يُسمَّى **الزخمَ الخطّيَّ** linear momentum. يُستعملُ تعبيرُ الزخمِ الخطّيِّ بمعنى زخمٍ في مواقفَ متعدِّدةٍ في حياتِنا اليومية . إلا أن هذا التعبيرَ يكتسبُ معنًى محدَّدًا في الفيزياء. يُعرَّفُ الزخمُ الخطّيُّ لجسمٍ كتلتُهُ m يتحرَّكُ بسرعةِ $\vec{v}$ بأنه حاصلُ ضربِ الكتلةِ في السرعة. ويُرمَزُ إلى الزخمِ الخطّيِّ بالرمز $\vec{p}$.

الزخمُ الخطّيّ

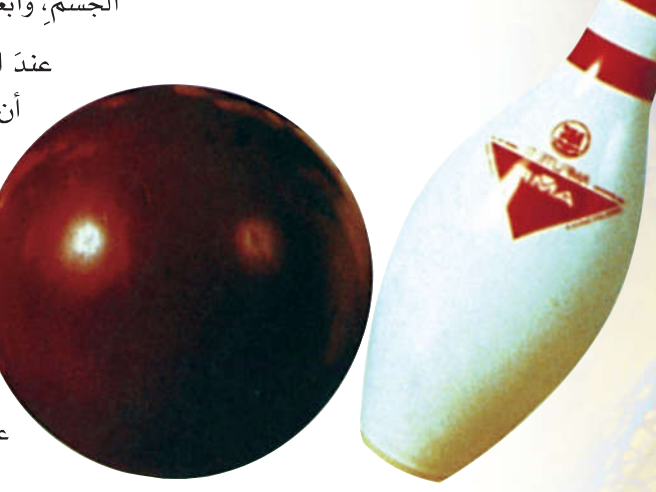
$$\vec{p} = m\vec{v}$$

الزخمُ الخطّيّ = الكتلة × السرعة

يبدو من تعريفِ الزخمِ الخطّيّ أنه كمّيةٌ اتّجاهيّةٌ واتّجاهُها هو نفسُه اتّجاهُ سرعةِ الجسمِ، وأبعادُها $\frac{\text{كتلة} \times \text{مسافة}}{\text{زمن}}$، وتكونُ وحدةُ قياسِها في نظامِ SI kg•m/s.

عندَ استعراضِ بعضِ الأمثلةِ على المعنى اليوميِّ لتعبيرِ الزخمِ الخطّيّ، تلاحظُ أن التعريفَ الفيزيائيَّ يُعطي معنًى مشابهًا. تخيَّلْ أنك تقودُ درّاجتَكَ على منحدرٍ دون تدويسٍ أو استعمالٍ للمكابح. فنتيجةً لقوَّةِ الجاذبية، تتسارعُ حركتُكَ بمعدَّلٍ ثابتٍ بحيثُ تزدادُ سرعتُكَ مع مرورِ الزمن. التعبيرُ الذي يَطلَقُ على ذلك هو في الغالبِ «زيادةُ السرعة» أو «اكتسابُ زخم». كلما تحرَّكْتَ بسرعةٍ أكبرَ ازدادَ الزخمُ وأصبحَ من الصعبِ عليك التوقُّف.

تخيَّلْ أنك تدحرجُ كرةَ بولينغ في أحدِ المساربِ وكرةَ قدمٍ في مسربٍ آخرَ وبالسرعةِ نفسِها. كرةُ البولينغ، ذاتُ الكتلةِ الأكبر، تطبِّقُ قوَّةً أكبرَ على الهدف، لأن زخمَها أكبرُ من زخمِ كرةِ القدم. إن للأجسامِ ذاتِ الكتلةِ



الشكل 1-5

عندَما تصطدمُ كرةُ البولينغ بالهدفِ يَعتمدُ تعجيلُ الهدفِ على الزخمِ الخطّيِّ للكرة، وهو حاصلُ ضربِ كتلتِها في سرعتِها.

الكبيرةِ والسرعاتِ العاليةِ زخمًا كبيرًا، وللأجسامِ ذاتِ الكتلةِ الأقلِّ والسرعةِ نفسِها زخمًا أقلّ.

من ناحيةٍ أخرى، يكونُ لجسمٍ صغيرٍ يتحرَّكُ بسرعةٍ كبيرةٍ جدًّا زخمٌ كبير. حبَّةُ البَرَدِ التي تسقطُ من غيمةٍ عاليةٍ هي من الأمثلةِ على ذلك، لأنها تكتسبُ زخمًا كافيًا لإلحاقِ الضررِ بالسياراتِ والمباني.

مثال 5 (أ)

الزخمُ الخطّيّ

المسألة

تسيرُ شاحنةٌ كتلتُها 2250 kg بسرعةِ 25 m/s إلى الشرق. ما الزخمُ الخطّيُّ للشاحنة؟

الحــلّ

المعطى: $m = 2250\ kg$ $\quad \vec{v} = 25\ m/s$ في اتجاه الشرق

المجهول: $\vec{p} = ?$

أستعمل معادلةَ الزخم الخطّيّ.

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

$$P = m\,v = (2250\ kg)\ (25\ m/s)$$

$$\boxed{\vec{p} = 5.6 \times 10^4\ kg{\bullet}m/s \text{ في اتّجاه الشرق}}$$

جوابُ الآلةِ الحاسبة

تعطي الآلةُ الحاسبةُ الجوابَ 56250 للزخم. بما أن سرعةَ الشاحنةِ تتألّفُ من رقمَيْن معنويَّيْن فقط، فإنّ الجوابَ يقرّبُ ليصبحَ 5.6×10^4.

تطبيق 5 (أ)

الزخمُ الخطّيّ

1. نعامةٌ كتلتُها 146 kg تعدو إلى اليمين بسرعةِ 17 m/s. ما زخمُها الخطّيّ؟
2. أزاد كتلتُه 21 kg يركبُ دراجةً كتلتُها 5.9 kg وسرعتُها 4.5 m/s في اتّجاهِ الشمالِ الغربي.
   أ. ما زخمُ أزاد والدرّاجةِ معًا؟
   ب. ما زخمُ أزاد؟
   ج. ما زخمُ الدرّاجة؟
3. بأيِّ سرعةٍ يجبُ أن تسيرَ سيّارةٌ كتلتُها 1210 kg كي تكتسبَ الشاحنةُ الزخمَ نفسَه في المثال 5 (أ)؟

العلاقةُ بين الزخمِ الخطّيِّ والقوَّةِ والزمن

يظهرُ في **الشكل 2-5** لاعبٌ يحاولُ إيقافَ كرةِ قدم، يلزمُهُ قوَّةٌ أكبرُ ليوقفَ كرةً أسرعَ منها، في مدَّةٍ زمنيةٍ مماثلة. تخيَّلِ الآنَ شاحنةً حقيقيةً وشاحنةً-لعبةً تتحرَّكانِ من السكونِ على منحدرٍ لااحتكاكيٍّ في اللحظةِ نفسِها. بما أن الشاحنتَيْنِ تتسارعانِ بالمعدَّلِ نفسِه، فإنَّ سرعتَيْهما في أيِّ لحظةٍ تكونان متساويتَيْن. لكن يلزمُنا قوَّةٌ أكبرُ لإيقافِ الشاحنةِ الحقيقيةِ مقارنةً بالقوةِ اللازمةِ لإيقافِ الشاحنة-اللعبةِ في الفترةِ الزمنيةِ نفسِها. قد تلاحظُ كذلك أن التقاطُكَ لكرةٍ سريعةٍ جدًّا قد يؤذي يدَيْك، بينما لا يلحقُ بك الأذى نفسُهُ عند التقاطِكَ كرةً بطيئة.

يبدو من هذه الأمثلةِ أن للزخمِ علاقةً وثيقةً بالقوَّة. في الحقيقة، لم تكن الصياغةُ الرياضيةُ للقانونِ الثاني لنيوتن في صورةِ $\vec{F} = m\vec{a}$، بل كانت في صورةِ:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

$$\text{القوة} = \frac{\text{التغيُّر في الزخم}}{\text{زمن تأثير القوة}}$$

يمكنُنا إعادةُ ترتيبِ هذه المعادلةِ كي نجدَ التغيُّرَ في الزخمِ بدلالةِ القوَّةِ المحصِّلةِ الخارجيةِ والزمنِ اللازمِ لحدوثِ هذا التغيُّر.

نظريةُ الدفع- الزخمِ الخطّيّ

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i \quad \text{أو} \quad \vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$$

الدفع أو التغيُّرُ في الزخم = القوة × زمن تأثير القوة

تنصُّ هذه المعادلةُ على أن القوَّةَ المحصَّلةَ الخارجيةَ $\vec{F}$، المطبَّقةَ على جسمٍ لفترةٍ زمنية Δt، تؤدّي إلى تغييرٍ في زخمِها يساوي حاصلَ ضربِ القوَّةِ في زمنِ تأثيرِها. وبتعبيرٍ آخر، إن تأثيرَ قوَّةٍ صغيرةٍ لفترةٍ زمنيةٍ طويلةٍ يُحدِثُ في الزخمِ التغييرَ نفسَهُ الذي تحدثُهُ قوَّةٌ كبيرةٌ في فترةٍ زمنيةٍ أقلّ. تعتبرُ كلُّ القوى الواردةِ في هذا الكتابِ قوًى ثابتة ما لم يُذكر العكس.

تسمى المعادلة $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ نظرية الدفع - الزخم الخطيّ. تُسمّى $\vec{F}\Delta t$ إلى يسار المعادلةِ **دفعَ** impulse القوَّة $\vec{F}$ خلالَ الفترةِ الزمنيةِ Δt.

تُظهرُ المعادلةُ $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ أهميةَ المتابعةِ في معظمِ أنواعِ الألعابِ الرياضية، بدءًا بالكاراتيه والبليارِ وانتهاءً بكرةِ القدمِ وكرةِ السلَّة. مثلاً، عندَ دفعِ الكرةِ بمضربٍ يكونُ التغيُّرُ في زخمِ الكرةِ أكبرَ مادامَ المضربُ يتابعُ الكرةَ ويلامسُها مدَّةً أطول. إن عمليةَ المتابعةِ مهمَّةٌ أيضًا في العديدِ من النشاطاتِ اليومية، كدفعِ عربةٍ في متجرٍ أو نقلِ مفروشات. إن إطالةَ المدَّةِ التي تؤثِّرُ خلالَها قوَّةٌ ثابتةٌ في جسمٍ معيَّنٍ يمكِّنُ القوَّةَ الصغيرةَ من إحداثِ تغييرٍ أكبرَ في الزخم، بالمقارنةِ مع تطبيقِ القوَّةِ نفسِها في زمنٍ أقصر.



الشكل 2-5

عندَما تتحرَّكُ الكرةُ بسرعةٍ عاليةٍ، يلزمُ اللاعبَ بذلُ قوَّةٍ كبيرةٍ خلالَ فترةٍ قصيرة، وذلك من أجلِ تغييرِ زخمِ الكرةِ وإيقافِها بسرعة.

الدفع

في حالةِ القوَّةِ الخارجيةِ الثابتة، يعرَّفُ الدفعُ بأنه حاصلُ ضربِ القوةِ في زمنِ تأثيرِها في الجسم.

مثال 5 (ب)

القوَّةُ والدفع

المسألة

سيّارةٌ كتلتُها 1400 kg تصطدمُ وهي تسيرُ بسرعةِ 15 m/s في اتجاهِ الغربِ بعمودٍ إلى جانبِ الطريق، وتتوقَّفُ خلالَ 0.30 s. جِدْ مقدارَ القوَّةِ التي تؤثِّرُ في السيّارةِ خلالَ عمليةِ التصادم.

الحلّ

المعطى: $m = 1400$ kg $\vec{v_i} = 15$ m/s نحو الغرب أو $\vec{v_i} = -15$ m/s

$\Delta t = 0.30$ s $\vec{v_f} = 0$ m/s

المجهول: $\vec{F} = ?$

أستعملُ نظريةَ الدفعِ – الزخمِ الخطّيّ.

$$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p} = m\vec{v_f} - m\vec{v_i}$$

$$\vec{F} = \frac{m\vec{v_f} - m\vec{v_i}}{\Delta t}$$

$$F = \frac{(1400\text{ kg})(0\text{ m/s}) - (1400\text{ kg})(-15\text{ m/s})}{0.30\text{ s}} = \frac{21\ 000\text{ kg•m/s}}{0.30\text{ s}}$$

$\vec{F} = 7.0 \times 10^4$ N نحو الشرق

تطبيق 5 (ب)

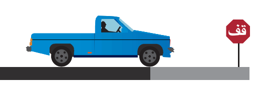
القوَّةُ والدفع

1. رُميتْ كرةُ قدمٍ كتلتُها 0.50 kg بسرعة 15 m/s إلى اليمين، التقطَها شخصٌ ساكنٌ وأوقفَها خلالَ مدَّةِ s 0.020. ما القوَّةُ المؤثِّرةُ في الشخص؟
2. سقطَ رجلٌ كتلتُهُ 82 kg من السكونِ عن منصَّةِ غطسٍ ترتفعُ 3.0 m فوق سطحِ الماء، وتوقَّفَ بعد 0.55 s من وصولهِ إلى الماء. ما القوَّةُ التي يطبِّقُها الماءُ على الرجل؟
3. كرةٌ كتلتُها 0.40 kg تصلُ إلى لاعبٍ بسرعةِ 18 m/s نحو الشمال. يركُلُ اللاعبُ الكرةَ ويجعلُها تتحرَّكُ في الاتجاهِ المعاكسِ بسرعةِ 22 m/s. ما الدفعُ الذي أعطاهُ اللاعبُ للكرة؟
4. قوَّةٌ مقدارُها 3.00 N تؤثِّرُ في جسمٍ ساكنٍ كتلتُه 0.50 kg في اتجاهِ اليمينِ مدةَ 1.50 s.
   أ. ما سرعةُ الجسمِ عند نهايةِ المدة؟
   ب. عند نهايةِ المدَّة، تقومُ قوَّةٌ مقدارُها 4.00 N بالتأثيرِ في الكرةِ في اتجاهِ اليسارِ مدَّةَ 3.00 s. ما سرعةُ الكرةِ بعدَ انقضاءِ هذه المدَّة؟

علاقةُ زمنِ التوقُّفِ ومسافتِه بنظريةِ الدفعِ - الزخمِ الخطّيّ

يستعملُ مهندسو سلامةِ الطرقاتِ نظريةَ الدفعِ - الزخمِ الخطّيِّ لتحديدِ مسافاتِ التوقُّفِ الآمنةِ للسيّاراتِ والشاحناتِ. فمثلاً، للشاحنةِ المحمَّلةِ بأحجارِ القرميدِ مِثْلا كتلةِ شاحنةٍ أخرى فارغة، كما في **الشكل 3-5**. إذا سارَتِ الشاحنتانِ بسرعةٍ مقدارُها 48 km/h، يكونُ زخمُ الشاحنةِ المحمَّلةِ مِثْلَيْ زخمِ الشاحنةِ الفارغة. إذا افترضْنا أن المكابحَ في كلِّ شاحنةٍ تطبِّقُ القوَّةَ نفسَها، نجدُ أن زمنَ توقُّفِ الشاحنةِ المحمَّلةِ يبلغُ مِثْلَيْ زمنِ توقُّفِ الشاحنةِ الفارغة، ومسافةَ توقُّفِ الشاحنةِ المحمَّلةِ يبلغُ مِثْلَيْ مسافةِ توقُّفِ الشاحنةِ الفارغة.

مسافةُ التوقُّف





الشكل 3-5

يلزمُ الشاحنةَ المحمَّلةَ أنْ تتعرَّضَ لتغييرٍ أكبرَ في زخمِها كي تتوقّف، وذلك بالمقارنةِ مع الشاحنةِ الفارغة.

مثال 5 (ج)

مسافةُ التوقُّف

المسألة

سيارةٌ كتلتُها 2240 kg مسافرةٌ نحوَ الغربِ تتباطأُ بمعدَّلٍ منتظمٍ من 20.0 m/s إلى 5.00 m/s. كم يلزمُ السيّارةَ من الزمنِ لتحقيقِ هذا التباطؤِ إذا كان مقدارُ القوَّةِ المؤثِّرةِ فيها في اتجاهِ الشرقِ 8410 N؟ ما المسافةُ التي تقطعُها السيّارةُ خلالَ فترةِ التباطؤ؟

الحـــلّ

المعطى: $m = 2240\ kg$ ، $\vec{v_i} = 20.0\ m/s$ نحو الغرب أو $\vec{v_i} = -20.0\ m/s$

$\vec{v_f} = 5.00\ m/s$ نحو الغرب أو $\vec{v_f} = -5.00\ m/s$

$\vec{F} = 8410\ N$ نحو الشرق أو $\vec{F} = +8410\ N$

المجهول: $\Delta t = ?$ $\quad \Delta \vec{x} = ?$

أستعملُ نظريةَ الدفعِ - الزخمِ الخطّيّ.

$$\vec{F}\Delta t = \Delta \vec{p}$$

$$(+8410\ N)\ \Delta t = (2240\ kg)(-5.00\ m/s) - (2240\ kg)(-20.0\ m/s)$$

$$\Delta t = \frac{(2240\ kg)(-5.00\ m/s) - (2240\ kg)(-20.0 m/s)}{8410\ kg{\bullet}m/s^2}$$

$$\boxed{\Delta t = 4.00\ s}$$

$$\Delta \vec{x} = \frac{1}{2}(\vec{v_i} + \vec{v_f})\Delta t$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(-20.0\ m/s - 5.00\ m/s)(4.00\ s)$$

$$\boxed{\Delta \vec{x} = -50.0\ m = 50.0\ m \text{ نحو الغرب}}$$

تطبيق 5 (ج)

مسافةُ التوقُّف

1. كم من الزمنِ يلزمُ للسيّارةِ في المثالِ 5 (ج) للتوقُّفِ بدءًا من سرعةِ 20.0 m/s نحو الغرب؟ ما المسافةُ التي قطعتْها السيّارةُ قبل توقُّفِها؟ افترضْ أن التعجيلَ ثابت.

2. تتباطأُ سيّارةٌ كتلتُها 2500 kg متجهةٌ نحو الشمالِ بشكلٍ منتظمٍ، من سرعةٍ ابتدائية 20.0 m/s، وذلك بتطبيقِ قوّةِ مكابحَ مقدارُها 6250 N في الاتجاهِ المعاكسِ لحركةِ السيّارة. استعملْ نظريةَ الدفعِ – الزخمِ الخطّيّ للإجابةِ عن الأسئلةِ التالية:

أ. ما سرعةُ السيّارةِ بعد 2.50 s؟

ب. ما المسافةُ التي تقطعُها السيّارةُ خلال 2.50 s؟

ج. كم من الزمنِ يلزمُ السيّارةَ لكي تتوقَّفَ تمامًا؟

3. افترضْ أن كتلةَ السيّارةِ في المثالِ 5 (ج) تساوي 3250 kg.

أ. ما القوَّةُ اللازمةُ لتحقيقِ التعجيلِ نفسِه في السؤالِ 1؟ استعملْ نظريةَ الدفعِ – الزخمِ الخطّيّ.

ب. كم تسيرُ السيارةُ قبلَ توقُّفِها؟

القوةُ وتغيُّرُ الزخمِ الخطّيِّ خلالَ فترةٍ زمنيةٍ أطول

تُستعملُ نظريةُ الدفعِ – الزخمِ الخطّيّ لتصميمِ أجهزةِ سلامةٍ تقلِّل من القوى المؤثِّرةِ في جسمِ الإنسانِ أثناءَ عملياتِ التصادم. من الأمثلةِ على ذلك الشِّباكُ والفُرُشُ الهوائيةُ العملاقةُ التي يستعملُها رجالُ الإطفاءِ لإنقاذِ الأشخاصِ الذين يرمونَ أنفسَهم من المباني العاليةِ أثناءَ الحريق. ويمكنُ أن تُستعمَلَ هذه العلاقةُ لتصميمِ ألعابَ الرياضيين وأجهزتِهم.

يظهرُ في **الشكل 4-5** مجموعةٌ من الأشخاصِ في لعبةٍ تقليدية. من المعروفِ أن سقوطَ الشخصِ على شبكةٍ مشدودةٍ أفضلُ من سقوطِهِ على الأرضِ الصُّلبة. في كلتا الحالتَيْن يكونُ تغيُّر زخمِ الشخصِ هو نفسَه. الفرقُ أن الشبكةَ تطيلُ زمنَ التصادمِ بحيثُ يتغيَّرُ زخمُ الشخصِ على امتدادِ فترةٍ أطول، ممّا يتطلَّبُ قوَّةً أقلّ.

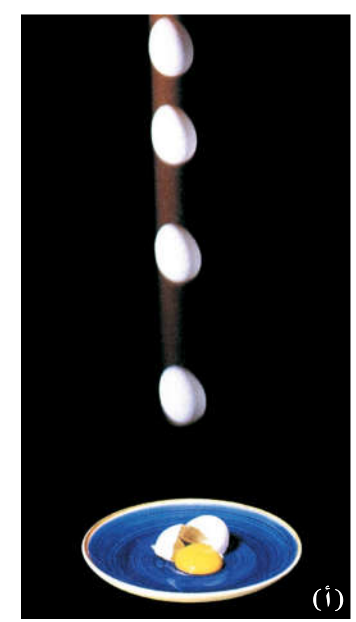
الآنَ افترضْ أن بيضةً تسقط. عندَ اصطدامِها بسطحٍ قاسٍ، كالطبقِ في **الشكل 5-5** (أ) مثلاً، تتوقَّفُ خلالَ مدَّةٍ قصيرة. عندَها تكونُ القوَّةُ التي يؤثِّرُ بها الطبقُ القاسي في البيضةِ كبيرة. لكن إذا اصطدمَتِ البيضةُ بالأرضِ المغطّاةِ بوسادةٍ، فإنها تتعرَّضُ للتغيُّرِ نفسِه في الزخمِ لكن على امتدادِ

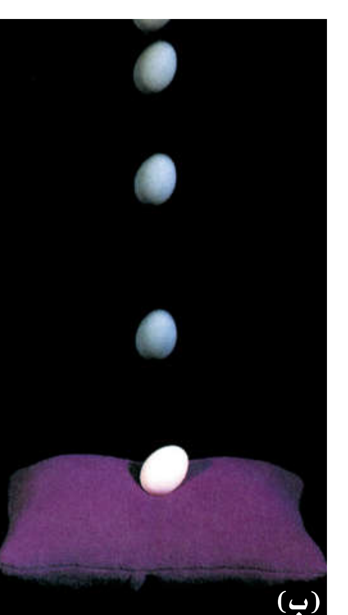


الشكل 4-5

يُحفَظُ الشخصُ الساقطُ من الأذى في هذه اللعبة، لأن الشبكةَ المشدودةَ تقلِّلُ من قوَّةِ التصادمِ بجعلِهِ يستمرُّ مدَّةً أطول.

فترةٍ زمنيةٍ أطول. تكونُ القوّةُ التي تؤمّنُ استقرارَ البيضة، في الحالةِ الثانية، أقلَّ بكثيرٍ ممّا هي في الحالةِ الأولى. إن تطبيقَ قوّةٍ أقلَّ على البيضة، خلالَ مدّةٍ أطولَ يؤدّي إلى التغيُّر نفسِهِ في زخمِ البيضة، كما في حالةِ اصطدامِها بالطبقِ حيثُ تُطبَّقُ قوّةٌ كبيرةٌ لفترةٍ أقصر. ولأن القوّةَ تكونُ في الحالةِ الثانيةِ أقلّ، فإنَّ البيضةَ يمكنُ أن تتوقَّفَ دونَ أن تتكسر.





الشكل 5-5

القوّةُ الكبيرةُ المطبَّقةُ مدَّةً قصيرة (أ) تؤدّي إلى التغيُّر نفسِهِ في زخمِ البيضةِ كما في حالةِ القوّةِ الصغيرةِ التي تؤثّرُ مدّةً أطول (ب).

مراجعةُ القسم 1-5

1. إذا تضاعفَ مقدارُ سرعةِ جُسيم:

أ. كيف يتغيَّرُ زخمُه؟

ب. ماذا يحدثُ لطاقتِه الحركيَّة؟

2. يعتقدُ لاعبٌ أن في إمكانِهِ رميَ كرةٍ كتلتُها 0.145 kg بزخمٍ يساوي زخمَ رصاصةٍ كتلتُها 3.00 g وسرعتُها 1.50×10^3 m/s.

أ. ما السرعةُ اللازمةُ للكرةِ حتى يصحَّ اعتقادُ اللاعب؟

ب. أيُّهما طاقتُه الحركيَّةُ أكبر: الكرةُ أم الرصاصة؟

3. تتحرَّكُ كرةُ قدمٍ كتلتُها 0.42 kg في ملعبٍ بسرعةٍ مقدارُها 12 m/s. يركلُ أحدُ اللاعبينَ الكرةَ بحيثُ يصبحُ مقدارُ سرعتِها 18 m/s وتبقى في الاتجاهِ نفسِه.

أ. ما التغيُّرُ في زخمِ الكرة؟

ب. جدِ القوَّةَ الثابتةَ التي يطبِّقُها اللاعبُ على الكرةِ حين تبقى قدمُهُ ملامسةً للكرةِ 0.020 s.

4. **تفكيرٌ ناقد** عندَما تؤثِّرُ قوّةٌ في جسم، هل تؤدّي قوّةٌ كبيرةٌ بالمقارنةِ مع قوّةٍ صغيرة دائمًا إلى تغيُّرٍ كبيرٍ في زخمِ جسم؟ اشرحْ.

5. **تفكيرٌ ناقد** ما العلاقةُ بين الزخمِ والدفع؟



قانونُ حفظِ الزخمِ الخطّيّ
Law of Conservation of Linear Momentum

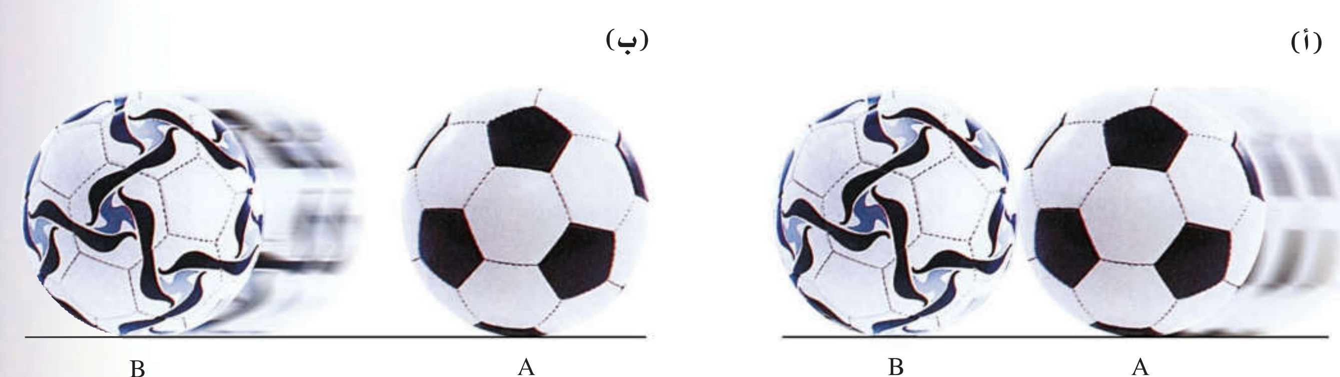
2-5 أهدافُ القسمِ

- يصفُ التأثيرَ المتبادلَ بين جسمَيْنِ بدلالةِ تغيُّرِ الزخمِ لكلٍّ منهما.
- يقارنُ بينَ الزخمِ الكلّيِّ لجسمَيْنِ قبلَ تصادمِهما وبعدَه.
- يذكرُ نصَّ قانونِ حفظِ الزخمِ الخطِّيِّ.
- يتوقَّعُ السرعاتِ النهائيةَ للأجسامِ بعدَ تصادمِها، بمعرفةِ سرعاتِها قبلَ التصادمِ.

الزخمُ الخطّيُّ محفوظ

درسْنا حتى الآن، في هذا الفصل، تغيُّرَ زخمِ جسمٍ واحدٍ فقط في كلِّ مرَّة. وسنعالجُ من الآنِ فصاعدًا زخمَ جسمَيْنِ أو أكثرَ في حالةِ تأثيرٍ متبادل. يظهرُ في **الشكل 6-2** كرةُ قدمٍ ساكنة B تبدأُ بالتحرُّكِ نتيجةً لاصطدامِها بكرةٍ أخرى متحرِّكة A.

افترضْ أن الكرتَيْن تنزلقانِ على أرضٍ ملساء، وأن أيًّا منهما لا تتدحرجُ قبلَ التصادمِ ولا بعدَه. في هذه الحالةِ يكونُ زخمُ الكرةِ B قبلَ التصادمِ صفرًا لأنها ساكنة. وأثناءَ عمليةِ التصادمِ تكتسبُ الكرةُ B زخمًا، بينَما تخسرُ A زخمًا. يتبيَّنُ أن الزخمَ الذي تخسرُه A يساوي تمامًا الزخمَ الذي تكتسبُه B.



الشكل 6-5

(أ) قبلَ التصادمِ يكونُ للكرةِ A زخمٌ هو $\vec{P}_A$، بينَما يكونُ زخمُ B صفرًا.
(ب) بعدَ التصادمِ تكتسبُ B زخمًا هو $\vec{P}_B$.

يظهرُ في **الجدول 1-5** سرعةُ وزخمُ كلِّ كرةٍ قبلَ التصادمِ وبعدَه. يتغيَّرُ زخمُ كلٍّ من الكرتَيْنِ نتيجةً للتصادم، إلا أن الزخمَ الكلِّيَّ للكرتَيْنِ معًا يبقى ثابتًا.

الجدول 1-5 الزخمُ الخطّيُّ خلالَ عمليةِ تصادم

	الكرة A			الكرة B			الكرتان A و B
	الكتلة	السرعة	الزخمُ الخطّيّ	الكتلة	السرعة	الزخمُ الخطّيّ	الزخمُ الخطّيُّ الكلّيّ
قبلَ التصادم	0.47 kg	0.84 m/s	0.40 kg•m/s	0.47 kg	0 m/s	0 kg•m/s	0.40 kg•m/s
بعدَ التصادم	0.47 kg	0.04 m/s	0.02 kg•m/s	0.47 kg	0.80 m/s	0.38 kg•m/s	0.40 kg•m/s

بذلك يكونُ حاصلُ جمعِ زخمِ A وزخمِ B معًا قبل التصادمِ مساويًا لحاصلِ جمعِ زخمَيْهما بعد التصادمِ.

$$\vec{P}_{A,i} + \vec{P}_{B,i} = \vec{P}_{A,f} + \vec{P}_{B,f}$$

تصحُّ هذه العلاقةُ في كافّةِ التفاعلاتِ المتبادَلةِ التي تحدثُ بين أجسامٍ معزولةٍ، وتسمّى قانونَ حفظِ الزخمِ الخطّيّ.

قانونُ حفظِ الزخمِ الخطّيّ

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f}$$

الزخمُ الكلّيُّ قبلَ التصادمِ = الزخمُ الكلّيُّ بعدَ التصادم

يمكنُ أن يُصاغَ قانونُ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ في الحالةِ العامّةِ كما يلي:
يبقى الزخمُ الكلّيُّ لكلِّ الأجسامِ التي تتبادلُ التفاعلاتِ فيما بينَها ثابتًا، بمعزلٍ عن طبيعةِ القُوى بين هذه الأجسام.

حفظُ الزخمِ الخطّيِّ أثناءَ التصادمات

وجدْنا في مثالِ الكرتَيْنِ A و B أن زخمَ كلٍّ منهما على حدة لم يبقَ ثابتًا أثناءَ تصادمِهما، بينَما بقيَ ثابتًا الزخمُ الكلّيُّ للكرتَيْنِ معًا. يبقى ثابتًا الزخمُ الكلّيُّ لنظامٍ من عدَّةِ أجسامٍ أثناءَ تبادلِها التأثيراتِ. فإذا قامَ جسمٌ ثالثٌ بتطبيقِ قوّةٍ على أيٍّ من الكرتَيْنِ A أو B أثناءَ تصادمِهما، يبقى الزخمُ الكلّيُّ لـ A و B والجسمِ الثالثِ ثابتًا.

إن مسائلَ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ الواردةَ في هذا الكتابِ تتناولُ، في معظمِها، حركةَ جسمَيْنِ معزولَيْنِ فقط. لكن عليك، عندَ استعمالِكَ قانونَ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ لحلِّ أيِّ مسألةٍ، أن تأخذَ في الاعتبارِ جميعَ الأجسامِ التي تُشاركُ في التأثيراتِ المتبادلة. أما قوى الاحتكاك، كاحتكاكِ الكرتَيْنِ بالأرض، فلن تؤخذَ في الاعتبارِ في معظمِ مسائلِ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ الواردةِ في هذا الكتاب.

حفظُ الزخمِ الخطّيِّ في حالةِ الأجسامِ المتباعدة

أحدُ الأمثلةِ الأخرى على حفظِ الزخمِ الخطّيِّ يكونُ عندَما تبدأُ الأجسامُ المتفاعلةُ، من حالةِ اتّزانٍ وانعدامٍ في كمّيةِ الحركة، بالتباعد. تخيَّلْ أنك كنْتَ واقفًا في حالةِ اتّزانٍ ثم قفزْتَ إلى أعلى تاركًا الأرضَ بسرعةٍ $\vec{v}$. من الواضحِ أن الزخمَ غيرُ محفوظٍ لأنه كان صفرًا قبلَ القفز، ثم أصبحَ $m\vec{v}$ بُعَيْدَ بدايةِ القفز. لكنَّ الزخمَ الكلّيَّ يبقى ثابتًا إذا أُخِذَتِ الكرةُ الأرضيةُ في الاعتبار. الزخمُ الكلّيُّ، لك وللكرة الأرضيةِ يبقى ثابتًا. إذا كان الزخمُ بعدَ القفزِ نحو الأعلى 60 kg•m/s، يكونُ زخمُ الكرةِ الأرضيةِ 60 kg•m/s إلى الأسفل، لأن الزخمَ الكلّيَّ يجبُ أن يبقى محفوظًا.

الفيزياءُ والحياة

1. التزلُّجُ على الجليد

إذا اصطدمَ متزلِّجٌ متهوِّرٌ على الجليد بمتزلِّجٍ آخرَ يقفُ في حالةِ اتّزان، هل يمكنُ لكلا المتزلِّجَيْن أن يكونا في حالةِ سكونٍ بعدَ التصادم؟

2. الرحلاتُ الفضائية

تتغيَّرُ سرعةُ السفينةِ الفضائيَّةِ عندما تطلِقُ صواريخ. كيف تتغيَّرُ هذه السرعةُ في الفراغِ حيث لا يوجدُ شيءٌ يقاومُ اندفاعَ الغازاتِ من السفينة؟

وبما أن كتلةَ الأرضِ كبيرةٌ جدًّا (6×10^{24} kg)، فإن هـذا التـغـيُّـرَ في زخـمِـه يـنـتـجُ مـن سـرعـةٍ صـغيرةٍ جـدًّا (1×10^{-23} m/s).

افترضْ أن متزحلقيْن يدفعُ الواحدُ الآخر، كما في **الشكل 7-5**، بدءًا من السكون، حيث زخمهما $\vec{P}_{1,i} = \vec{P}_{2,i} = \vec{0}$. عـنـدَمـا يدفـعُ أحـدُهـمـا الآخـرَ يـتـحـرَّكـانِ في اتجاهَـيْـنِ متعاكسَيْنِ وبزخمَيْنِ متساويَيْنِ في المقدارِ ومتعاكسَيْنِ في الاتجاه، بـحـيـثُ يـبـقـى الـزخـمُ الـكـلِّـيُّ الـنـهـائـيُّ صـفـرًا ($\vec{P}_{1,f} + \vec{P}_{2,f} = \vec{0}$).



الشكل 7-5

(أ) عندَما يقفُ المتزلِّجانِ الواحدُ في مقابلِ الآخر، يكونُ زخمُ كلٍّ منهما صفرًا ويكونُ الزخمُ الكلّيُّ صفرًا.

(ب) عندَما يدفعُ المتزلِّجانِ أحدُهما الآخرَ يصبحُ زخماهما متساويينِ ومتعاكسَيْن، ويبقى الزخمُ الكلّيُّ صفرًا.

الفيزياءُ والحياة

النجاةُ من حوادثِ التصادم

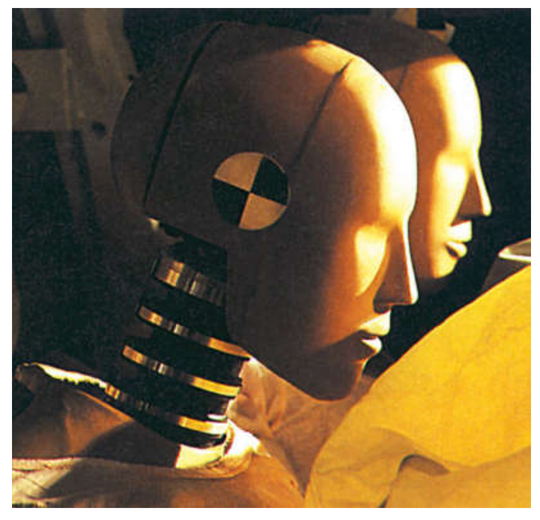
تصطدمُ العرباتُ الصغيرةُ وأقراصُ التصادمِ في مختبراتِ الفيزياءِ مرّاتٍ عدَّة، وتكونُ الأضرارُ بسيطة. لكن عندَما تتصادمُ السيّاراتُ على الطرقاتِ السريعةِ، يمكنُ أن يؤدّيَ التغيُّرُ المفاجئُ في السرعةِ إلى جروح، وربَّما إلى وفاةِ السائقِ أو بعضِ المسافرين.

الكثيرُ من أنواعِ التصادماتِ خطير، لكنَّ أخطرَها التصادماتُ الرأسيةُ ذاتُ التسارعاتِ والقوى الكبيرةِ جدًّا. إذا اصطدمَتْ رأسيًّا سيّارتانِ تسيران بسرعةِ 100 km/h فإن الطاقةَ الحركيَّةَ التي تهدرُها كلٌّ منهما تساوي الطاقةَ المكتسبةَ لدى سقوطِ أيٍّ منهما من سطحِ مبنًى مؤلَّفٍ من اثنتَيْ عشرةَ طبقة.

تعتمدُ أهمُّ طرائقِ سلامةِ السيّاراتِ على مبدأِ الدفع. وتُعتبرُ قابليةُ التشوُّهِ والتعوُّجِ في شكلِ السيّاراتِ الحديثةِ نتيجةَ التصادمِ إحدى طرائقِ تطبيقِ مبدأِ الدفع. يمكنُ لهيكلِ السيّارةِ المرنِ المصنوعِ من صفائحَ ليِّنةٍ أن يمتصَّ الطاقةَ إلى حينِ وصولِ القوَّةِ إلى مقصورةِ المسافرِ المصنوعةِ من معدنٍ قاسٍ للحماية. وبما أن تعوُّجَ السيّارةِ يساهمُ في تباطؤِها تدريجيًّا، فإن التعوُّجَ يعدُّ عنصرًا مهمًّا في بقاءِ السائقِ على قيدِ الحياة.

بالرغمِ من أخذِ عنصرِ الأمانِ هذا في الحسبانِ عندَ تصنيعِ السيّارات، فإنَّ تصادماتِ السرعاتِ العاليةِ يمكنُ أن تؤدّي إلى تعجيلٍ يفوقُ عشرينَ ضعفًا تعجيلَ السقوطِ الحر. ذلك يعني أن احتضانَكَ لطفلٍ كتلتُهُ 9 kg قد يعرِّضُهُ لقوَّةٍ مقدارُها 1780 N أثناءَ عمليةِ تصادم، ما قد يؤدّي إلى قذفِهِ من حضنِك بفعلِ هذه القوَّةِ الكبيرة. عندها، وبسببِ القصورِ الذاتي، يتابعُ الطفلُ تحرُّكَهُ بسرعةٍ مساويةٍ لسرعةِ السيّارةِ إلى أن يصطدمَ بالزجاجِ الأمامي.

يعتبرُ حزامُ الأمانِ ضرورةً لحمايةِ الجسمِ من القوى ذاتِ المقدارِ الهائل. هذه الأحزمةُ تساهمُ في مضاعفةِ الفترةِ الزمنيةِ اللازمةِ لتوقُّفِ الجسم، ما يؤدّي إلى تقليلِ القوَّةِ المؤثِّرةِ فيه. وتمنعُ أحزمةُ



الأمانِ الأجسامَ من الاصطدامِ بالجزءِ الداخليِّ لهيكلِ السيارة. لكن في حالةِ عدمِ استعمالِ حزامِ الأمانِ يُحتمَلُ أن يصطدمَ الشخصُ بالزجاجِ الأمامي، أو بمقودِ السيارةِ أو بلوحةِ العدّادات، ممّا قد يؤدّي إلى نتائجَ مؤسفة.

مثال 5 (د)

حفظُ الزخمِ الخطّيّ

المسألة

رجلٌ كتلتُهُ 76 kg يقفُ في مركبٍ كتلتُهُ 45 kg في ميناء بيروت. يثبُ الرجلُ من المركبِ إلى الرصيفِ بسرعةِ 2.5 m/s إلى اليمين. ما السرعةُ النهائيةُ للمركب؟

الحــلّ

1. أعرِّف

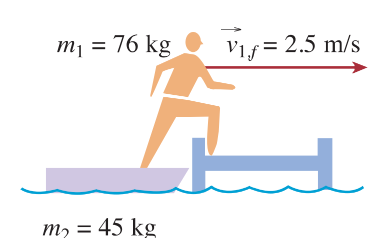
المعطى:

$m_1 = 76\text{ kg}$ $\quad m_2 = 45\text{ kg}$ $\quad \vec{v}_{1,i} = 0$

$\vec{v}_{2,i} = 0$ $\quad \vec{v}_{1,f} = 2.5\text{ m/s}$ إلى اليمين أو $\vec{v}_{1,f} = +\,2.5\text{ m/s}$

المجهول: $\vec{v}_{2,f} = ?$

الرسم:



2. أخطِّط

أختارُ معادلةً أو موقفًا: بما أن زخمَ نظامٍ معزولٍ يبقى ثابتًا، فإن الزخمَ الكلِّيَّ الابتدائيَّ (قبلَ التصادمِ) للمركبِ والرجلِ معًا يجبُ أن يساويَ زخمَهما الكلَّيَّ النهائيَّ (بعد التصادم).

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f}$$

وبما أن الرجلَ والمركبَ كليهما كانا في حالةِ اتّزان، فإن زخمَهما الكلِّيَّ الابتدائيَّ صفر.

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = 0$$

لذلك فإنَّ الزخمَ الكلَّيَّ النهائيَّ للنظامِ يجبُ أن يساويَ الصفر.

$$m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f} = 0$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحلّ:

$$m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f} = (76\text{ kg} \times 2.5\text{ m/s}) + (45\text{ kg} \times \vec{v}_{2,f})$$

$$190\text{ kg•m/s} + 45\text{ kg}\,(v_{2,f}) = 0$$

$$45\text{ kg}\,(v_{2,f}) = -190\text{ kg•m/s}$$

$$v_{2,f} = \frac{-190\text{ kg•m/s}}{45\text{ kg}}$$

$$\boxed{v_{2,f} = -\,4.2\text{ m/s}}$$

4. أقيِّم

تدلُّ الإشارةُ السالبةُ في $\vec{v}_{2,f}$ على أن سرعةَ المركبِ تتَّجهُ إلى اليسار، أي بعكسِ اتجاهِ حركةِ الرجلِ داخلَ المركب.

$\boxed{\vec{v}_{2,f} = 4.2\text{ m/s}}$ نحو اليسار

تطبيق 5 (د)

حفظُ الزخم الخطّيّ

1. أثناءَ رحلةٍ لرائدِ فضاء، كتلتُهُ 63.0 kg خارجَ السفينةِ الفضائية، ينقطعُ الحبلُ الذي يصلُهُ بسفينتِه. يستطيعُ الرائدُ أن يرميَ عبوةَ أكسجينٍ كتلتُها 10.0 kg بعيدًا عن السفينةِ وبسرعةِ 12.0 m/s، فتحدثُ قوّةَ دفعٍ تعيدُهُ نحوَ السفينة. ما سرعةُ الرائدِ بعدَ رميِهِ العبوةَ إذا بدأَ حركتَهُ من السكون؟

2. يقفزُ صيَّادٌ كتلتُهُ 85.0 kg من رصيفٍ إلى قاربٍ كتلتُهُ 135.0 kg متوقِّفٍ غربَ الرصيف. إذا كانت سرعةُ الصيَّادِ عندَ تركِهِ الرصيفَ 4.30 m/s نحو الغرب، فما سرعتُهما النهائيةُ معًا؟

3. تصطدمُ كرةٌ خضراءُ كتلتُها 0.50 kg بسرعةِ 12.0 m/s بكرةٍ زرقاءَ ساكنةٍ لها الكتلةُ نفسُها. افترضْ أن الكرتَيْن تنزلقانِ على الأرضِ من دونِ احتكاك، وأن التصادماتِ رأسية، جِدِ السرعةَ النهائيةَ للكرةِ الزرقاءِ في كلٍّ من الحالاتِ التالية:

أ. تتوقَّفُ الكرةُ الخضراءُ عن الحركةِ لدى اصطدامِها بالكرةِ الزرقاء.

ب. تتابعُ الكرةُ الخضراءُ حركتَها في الاتجاهِ نفسِهِ بعدَ التصادمِ بسرعةِ 2.4 m/s.

4. يقفُ رياضيٌّ على لوحٍ انزلاقيٍّ كتلتُهُ 2.0 kg، ويرمي إلى الأمامِ إبريقًا من الماءِ كتلتُهُ 8.0 kg. إذا كانت سرعةُ الإبريقِ 3.0 m/s بالنسبةِ إلى الأرض، وسرعةُ الرياضيِّ واللوحِ معًا 0.60 m/s في الاتجاهِ المعاكس، فما كتلةُ الرياضيِّ؟

القانونُ الثالثُ لنيوتُن وحفظُ الزخمِ الخطّيّ

افترضْ أن هناك سيارتَيْنِ مجهَّزتَيْنِ بمصدَمَيْنِ كتلتاهما m_1 و m_2. لتكنْ سرعتَيْهما قبل التصادم $\vec{v}_{1,i}$ و $\vec{v}_{2,i}$ وبعد التصادم $\vec{v}_{1,f}$ و $\vec{v}_{2,f}$. تصفُ نظريةُ الدفعِ – الزخمِ الخطّي $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$ تغيُّرَ زخمِ كلٍّ من السيّارتَيْنِ كما يلي:

للسيّارةِ الأولى $$\vec{F}_1\Delta t = m_1\vec{v}_{1,f} - m_1\vec{v}_{1,i}$$

للسيّارةِ الثانية $$\vec{F}_2\Delta t = m_2\vec{v}_{2,f} - m_2\vec{v}_{2,i}$$

$\vec{F}_1$ هي القوَّةُ التي تطبِّقُها m_2 على m_1، و $\vec{F}_2$ هي القوَّةُ التي تطبِّقُها m_1 على m_2 أثناءَ عمليةِ التصادم، كما في **الشكل 5-8**. بما أن القوَّتَيْنِ الوحيدَتَيْنِ المؤثِّرتَيْنِ أثناءَ عمليةِ التصادمِ هما قوّتا التأثيرِ المتبادلِ بين السيّارتين، فإن القانونَ الثالثَ لنيوتن يفيدُ بأن القوَّةَ المؤثِّرةَ في m_1 مساويةٌ في المقدارِ ومعاكسةٌ في الاتجاهِ للقوّةِ المؤثِّرةِ في m_2 $(\vec{F}_1 = -\vec{F}_2)$. والقوّتانِ تؤثّرانِ في الفترةِ الزمنيةِ نفسِها Δt، لذلك يكونُ حاصلُ ضربِ $\vec{F}_1$ في Δt مساويًا لحاصلِ ضربِ $-\vec{F}_2$ في Δt، أي $\vec{F}_1\Delta t = -\vec{F}_2\Delta t$، وهذا يعني أن الدفعَ على m_1 مساوٍ في المقدارِ ومعاكسٌ في الاتجاهِ للدفعِ على m_2 . تصحُّ هذه العلاقةُ في كلِّ حالاتِ التصادمِ والتأثيرِ المتبادلِ بينَ جسمَيْنِ معزولَيْن.

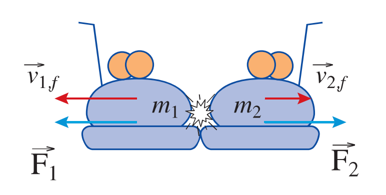
الشكل 5-8

نتيجةً لعمليةِ التصادمِ، تؤدّي القوّةُ المؤثِّرةُ في كلِّ سيّارةٍ إلى تغيُّرٍ في زخمِها. ويكون الزخمُ الكليُّ هو نفسَه قبلَ التصادمِ وبعدَه.

قبلَ التصادم

m_1 $\vec{v}_{1,i}$ $\vec{v}_{2,i}$ m_2

بعدَ التصادم



وبما أن الدفعَ يساوي التغيُّرَ في الزخمِ، والدفعَ على m_1 يساوي في المقدارِ ويعاكسُ في الاتجاهِ الدفعَ على m_2، فإن التغيُّرَ في الزخمِ m_1 يساوي في المقدارِ ويعاكسُ في الاتجاهِ التغيُّرَ في الزخمِ m_2. يعني ذلك أنه في كلِّ حالةٍ من حالاتِ التأثيرِ المتبادلِ بين جسمَيْنِ معزولَيْنِ، يكونُ التغيُّرُ في زخمِ الجسمِ الأوّلِ مساويًا في المقدارِ ومعاكسًا في الاتجاهِ للتغيُّرِ في زخمِ الجسمِ الثاني. ويُكتَبُ ذلك وفقَ المعادلةِ التالية:

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

$$m_1\vec{v}_{1,f} - m_1\vec{v}_{1,i} = -(m_2\vec{v}_{2,f} - m_2\vec{v}_{2,i})$$

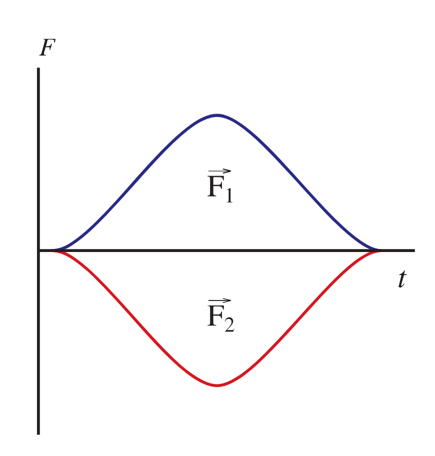
تفيدُ هذه المعادلةُ أنه إذا ازدادَ زخمُ أحدِ الجسمَيْنِ بعدَ التصادمِ ينخفضُ زخمُ الجسمِ الآخرِ بالمقدارِ ذاتِه. نحصلُ بعدَ إعادةِ ترتيبِ هذه العلاقةِ على قانونِ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ:

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f}$$

القوى غيرُ ثابتةٍ أثناء التصادماتِ الحقيقية

تمَّ التعاملُ مع قوى التصادمِ في القسمِ 1-1 كقوًى ثابتة. لكنَّ القوى في التصادماتِ الحقيقيةِ تتغيَّرُ بالنسبةِ إلى الزمنِ بطريقةٍ معقَّدة. يُظهِرُ **الشكل 5-9** القوَّتَيْنِ المؤثِّرتَيْنِ أثناءَ التصادمِ بينَ سيّارتَيْنِ مزوَّدتَيْنِ بمصداميْنِ. تكونُ القوّتانِ المطبَّقتانِ على السيّارتَيْنِ متساويتَيْنِ في المقدارِ ومتعاكستَيْنِ في الاتجاهِ في كلِّ لحظةٍ زمنية، بينما يتغيَّرُ مقدارُ كلٍّ منهما بالنسبةِ إلى الزمنِ، حيث يزدادُ حتى يبلغَ حدَّهُ الأقصى ثم يعودُ فيتناقص.

عند حلِّ مسائلَ حولَ الدفعِ، يلزمُكَ استعمالُ متوسِّطِ القوّةِ أثناءَ عمليةِ التصادمِ واعتبارُها مقدارًا ثابتًا. تعلَّمتَ من قبلُ أن متوسِّطَ سرعةِ جسمٍ يتحرَّكُ بتعجيلٍ ثابتٍ هو السرعةُ الثابتةُ اللازمةُ لأيِّ جسمٍ كي يقطعَ الإزاحةَ نفسَها في الفترةِ الزمنيةِ نفسِها. وبالمثلِ، فإن متوسِّطَ القوّةِ المتغيّرةِ أثناءَ عمليةِ التصادمِ يساوي القوةَ الثابتةَ المطلوبةَ لتحقيقِ التغيُّرِ نفسِهِ في الزخم.



الشكل 5-9

يبيِّنُ الرسمُ القوةَ المؤثِّرةَ في كلٍّ من السيارتَيْنِ أثناءَ عمليةِ التصادم. بالرغم من أن $\vec{F}_1$ و $\vec{F}_2$ متغيرتانِ بالنسبةِ إلى الزمن فإنهما تبقيانِ دائمًا متساويتَيْنِ في المقدارِ ومتعاكستَيْنِ في الاتجاه.

مراجعةُ القسم 2-5

1. ولدٌ كتلتُهُ 44 kg، مزوَّدٌ بمزلاجٍ، يقومُ بتدريباتٍ مستعملاً كرةً كتلتُها 22 kg. اشرحْ، مهملاً قوى الاحتكاك، ما يحدثُ في الحالاتِ التالية:

أ. يحملُ الولدُ الكرةَ وهما في حالةِ اتّزان. يقومُ الولدُ بدفعِ الكرةِ أفقيًّا، فينزلقُ إلى الخلفِ بسرعةِ 3.5 m/s.

ب. اشرحْ ما يحدثُ للكرةِ في الحالةِ (أ) بدلالةِ زخمِ الولدِ وزخمِ الكرة.

ج. يكونُ الولدُ في الأساسِ في حالةِ اتزان، فيلتقطُ الكرةَ المتحرِّكةَ نحوَه بسرعةِ 4.6 m/s في اتجاهِ اليمين.

د. اشرحْ ما يحدثُ في الحالةِ (ج) بدلالةِ زخمِ الولدِ وزخمِ الكرة.

2. يقفُ ولدٌ في قاربٍ عند أحدِ طرفَيْه. القاربُ طويلٌ وساكنٌ بالنسبةِ إلى الشاطئ. بعدها يسيرُ الولدُ نحو الطرفِ الآخرِ للقاربِ مبتعدًا عن الشاطئ.

أ. هل يتحرَّكُ القاربُ؟ اشرحْ.

ب. ما الزخمُ الكلِّيُّ للولدِ والقاربِ قبل بدءِ الولدِ في السيرِ داخلَ القاربِ؟

ج. ما الزخمُ الكلِّيُّ النهائيُّ للولدِ والقاربِ بعد سيرِ الولدِ داخلَ القاربِ؟

3. تُظهرُ صورةٌ للأحداثِ السريعةِ رأسَ مضربِ غولف كتلتُه 215 g وهو يتحرَّكُ بسرعةِ 55.0 m/s قبيلَ ارتطامِهِ بكرةِ غولف ساكنةٍ كتلتُها 46 g. يتابعُ المضربُ حركتَهُ بعد التصادمِ في الاتجاهِ نفسِهِ وبسرعةِ 42.0 m/s. استعملْ قانونَ حفظِ الزخمِ الخطِّيِّ لحسابِ سرعةِ كرةِ الغولفِ بعد التصادمِ مباشرة.

4. **تفكيرٌ ناقد** يتعرَّضُ جسمانِ معزولانِ لتصادمٍ رأسيٍّ مباشر. اشرحْ إجابتَكَ حولَ كلٍّ من الأسئلةِ التالية:

أ. إذا كنتَ تعرفُ تغيُّرَ زخمِ أحدِ الجسمَيْن، فهل يمكنُكَ إيجادُ تغيُّرِ زخمِ الجسمِ الآخر؟

ب. إذا كنتَ تعرفُ السرعتينِ الابتدائيةَ والنهائيةَ لأحدِ الجسمَيْن وكتلةَ الجسمِ الآخر، فهل تكونُ لديك المعلوماتُ الكافيةُ لإيجادِ السرعةِ النهائيةِ للجسمِ الثاني؟

ج. إذا كنتَ تعرفُ كتلتَي الجسمَيْنِ وسرعتَيْهما النهائيَّتَيْن، فهل تكونُ لديكَ المعلوماتُ الكافيةُ لإيجادِ سرعتَيْهما لابتدائيتَيْن؟

د. إذا كنتَ تعرفُ كتلةَ كلٍّ من الجسمَيْنِ وسرعتَيْهما الابتدائيتَيْن بالإضافةِ إلى السرعةِ النهائيةِ لأحدِهما، فهل تكونُ لديك المعلوماتُ الكافيةُ لإيجادِ السرعةِ النهائيةِ للجسمِ الآخر؟

هـ. إذا كنتَ تعرفُ التغيُّرَ في زخمِ أحدِ الجسمَيْنِ والسرعتَيْنِ الابتدائيةَ والنهائيةَ للجسمِ الآخر، فهل تكونُ لديك المعلوماتُ الكافيةُ لإيجادِ كتلةِ أيٍّ من الجسمَيْن؟

القسم 3-5

التصادماتُ المرنةُ واللاّمرنة

Elastic and Inelastic Collisions

3-5 أهدافُ القسم

- يعيِّنُ أنواعًا مختلفةً من التصادمات.
- يحسبُ التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيَّةِ أثناء التصادماتِ اللامرنةِ تمامًا.
- يقارنُ بين حفظِ الزخمِ الخطّيِّ وحفظِ الطاقةِ الحركيَّةِ في التصادماتِ المرنةِ واللامرنةِ تمامًا.
- يحدِّدُ السرعةَ النهائيةَ لجسمٍ في التصادماتِ المرنةِ واللاّمرنةِ تمامًا.

التصادمات

قد تلاحظُ، أثناءَ مشاهداتِك اليومية، الكثيرَ من عمليات التصادمِ دون التدقيقِ فيها. قد يصطدمُ جسمٌ بآخرَ في بعضِ الحالاتِ فيتلاصقان بعد الاصطدام، كما في حالةِ اصطدامِ سهمٍ منطلقٍ إلى الأمامِ بهدفٍ ساكن، وفقًا لما في **الشكل 5-10**. في حالةِ النظامِ المعزول، يتابعُ السهمُ والهدفُ حركتَيْهما معًا بعد التصادم، بحيثُ يكونُ زخمُهما بعد التصادمِ مساويًا لزخمِهما قبل التصادم. لكن في حالةِ تصادمٍ بين المضربِ والكرةِ، فيرتدُّ الجسمانِ بسرعتَيْنِ مختلفتَيْن.

يبقى الزخمُ الكلِّيُّ ثابتًا في أيِّ نوعٍ من أنواعِ التصادم. لكن الطاقةَ الحركيَّةَ الكلِّيةَ لا تكونُ محفوظةً بشكلٍ عامٍّ أثناء التصادم، لأن جزءًا منها يتحوَّلُ إلى طاقةٍ داخليةٍ إذا تغيَّرَتْ أشكالُ الأجسامِ نتيجةً لهذا النوع من التصادم. سندرسُ في هذا القسمِ أنواعًا مختلفةً من التصادمات، ونحدِّدُ إن كانت الطاقةُ الحركيَّةُ محفوظةً في كلِّ نوع. تتركزُ دراستُنا على نوعَيْنِ مختلفَيْنِ من التصادماتِ هما التصادماتُ المرنةُ واللاّمرنةُ تمامًا.

التصادماتُ اللاّمرنةُ تمامًا

عندما يصطدمُ جسمٌ بآخرَ، فيتلاصقان ويتابعانِ حركتَهما كجسمٍ واحد، كما في حالةِ السهمِ والهدف، يُسمَّى تصادمُهما لامرنًا تمامًا. كذلك، إذا اصطدمَ نيزكٌ رأسيًّا بالأرضِ فإنه ينفُذُ ويستقرُّ في داخلِها ويكونُ الاصطدامُ لامرنًا تمامًا.

يسهلُ تحليلُ التصادماتِ اللامرنةِ تمامًا بدلالةِ الزخمِ لأن الجسمَيْنِ يصبحانِ عمليًّا جسمًا واحدًا بعد التصادم. تكونُ كتلةُ الجسمِ الناتجِ حاصلَ جمعِ كتلتَيِ الجسمَيْنِ المتصادمَيْن، ويتحرَّكُ الجسمانِ بالسرعةِ ذاتِها بعد التصادم.

التصادمُ اللامرنُ تمامًا

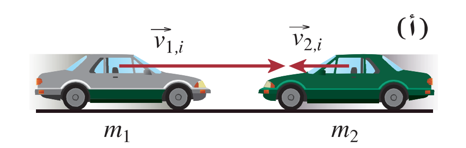
التصادمُ الذي يتلاصقُ فيه الجسمانِ ويتابعانِ حركتَيهما بالسرعةِ نفسِها.



الشكل 5-10

عندما يخترقُ السهمُ الهدفَ ويستقرُّ فيه، يكونُ التصادمُ بينهما لامرنًا تمامًا (مع افتراضِ عدمِ تطايُرِ أيِّ جزء).

افترضْ أن سيّارتين كتلتاهُما m_1 و m_2 تسيرانِ بسرعتَيْنِ ابتدائيتَيْنِ $\vec{v}_{1,i}$ و $\vec{v}_{2,i}$ على خطٍّ مستقيم، كما في **الشكل 5-11**. تتلاصقُ السيّاراتانِ بعد التصادم، وتسيرانِ في خطٍّ واحدٍ وبالسرعةِ نفسِها $\vec{v}_f$. يتساوى الزخمُ الكلّيُّ للسيارتَيْنِ قبل التصادمِ وبعدَه.



(ب)
$\vec{v}_f$
$m_1 + m_2$

الشكل 5-11

الزخمُ الكلّيُّ للسيّارتين قبل التصادمِ (أ) يساوي الزخمَ الكلّيَّ للسيّارتينِ بعد التصادمِ اللامرنِ تمامًا (ب).

التصادمُ اللامرنُ تمامًا

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = (m_1 + m_2)\vec{v}_f$$

تُستعمَلُ هذه الصيغةُ المبسَّطةُ لحفظِ الزخمِ الخطّيِّ في تحليلِ التصادماتِ اللامرنة تمامًا. عند استعمالِ هذه العلاقةِ يجبُ الانتباهُ إلى الكمياتِ الموجبةِ والسالبةِ التي تحدِّدُ الاتجاهات. في **الشكل 5-11**، تكونُ إشارةُ $\vec{v}_{1,i}$ موجبةً لأن m_1 تتحرَّكُ نحوَ اليمين، بينما تكونُ إشارةُ $\vec{v}_{2,i}$ سالبةً لأن m_2 تتحرَّكُ نحوَ اليسار.

مثال 5 (هـ)

التصادماتُ اللاّمرنةُ تمامًا

المسألة

تتوقَّفُ سيّارةٌ كبيرةٌ كتلتُها 1850 kg عند إشارةٍ ضوئية، فتصطدمُ بها من الخلفِ سيارةٌ صغيرةٌ كتلتُها 975 kg. تتلاصقُ السيّارتانِ نتيجةً للتصادم. إذا كانت السرعةُ الابتدائيةُ للسيّارةِ الصغيرةِ 22.0 m/s في اتجاهِ الشمال، فما سرعةُ السيارتَيْنِ المتلاصقتَيْنِ بعد التصادم؟

الحلّ

المعطى: $m_1 = 1850\ \text{kg}$ $\quad m_2 = 975\ \text{kg}$ $\quad v_{1,i} = 0\ \text{m/s}$

نحو الشمال $\vec{v}_{2,i} = 22.0\ \text{m/s}$

المجهول: $\vec{v}_f = ?$

أستعملُ معادلةَ التصادمِ اللاّمرنِ تمامًا.

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = (m_1 + m_2)\vec{v}_f$$

$$\vec{v}_f = \frac{m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i}}{m_1 + m_2}$$

$$v_f = \frac{(1850\ \text{kg})(0\ \text{m/s}) + (975\ \text{kg})(22.0\ \text{m/s})}{1850\ \text{kg} + 975\ \text{kg}}$$

$$v_f = \frac{2.14 \times 10^4\ \text{kg•m/s}}{2820\ \text{kg}}$$

نحو الشمال $\boxed{\vec{v}_f = 7.59\ \text{m/s}}$

تطبيق 5 (هـ)

التصادماتُ اللاَّمرنةُ تمامًا

1. تسيرُ سيّارةٌ كتلتُها 1500 kg بسرعةِ 15.0 m/s نحو الجنوب وتصطدمُ بشاحنةٍ كتلتُها 4500 kg متوقِّفةٍ عند إشارةٍ ضوئية. تتلاصقُ السيارةُ بالشاحنةِ بعد التصادمِ وتسيرانِ معًا. ما سرعتُهما النهائية؟

2. يقذفُ متسوِّقٌ في متجرٍ كيسًا من الأرُزِّ كتلتُه 9.0 kg نحو عربةِ تسوُّقٍ متوقفةٍ كتلتُها 18.0 kg. يسقطُ الكيسُ في العربةِ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها 5.5 m/s في اتجاهِ مقدّمةِ العربة. ما السرعةُ النهائيةُ للعربةِ والكيس؟

3. تسيرُ عربةٌ كتلتُها 1.50×10^4 kg بسرعةِ 7.00 m/s في اتّجاهِ الشمالِ وتصطدمُ بعربةٍ أخرى لها الكتلةُ نفسُها وتسيرُ في الاتجاهِ نفسِه بسرعةِ 1.50 m/s فتتلاصقان. ما سرعةُ العربتَيْنِ المتلاصقتَيْنِ بعد التصادم؟

4. يرمي عاملُ مصبغةٍ كيسًا من الملابسِ كتلتُهُ 22 kg نحو عربةٍ متوقِّفةٍ كتلتُها 9.0 kg. تتابعُ العربةُ والكيسُ حركتَهما بعد التصادمِ بسرعةِ 3.0 m/s نحو اليمين. جِدْ سرعةَ كيسِ الملابسِ قبل التصادم.

5. طالب كتلتُهُ 47.4 kg يركضُ في ممرّ، ثم يقفِزُ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها 4.20 m/s على لوحٍ انزلاقيٍّ ساكن. يتابعُ الفتى واللوحُ الحركةَ بعد التصادمِ بسرعةِ 3.95 m/s. جِدْ:

أ. كتلةَ اللوحِ الانزلاقيّ.

ب. السرعةَ الابتدائيةَ التي يجبُ أن يقفِزَ بها الفتى إلى اللوحِ ليكتسبَ سرعةً نهائيةً مقدارُها 5.00 m/s.

الطاقةُ الحركيَّةُ غيرُ محفوظةٍ في التصادماتِ اللاَّمرنة

في التصادماتِ اللاَّمرنةِ لا تبقى الطاقةُ الحركيَّةُ ثابتةً عندما يصطدمُ الجسمانِ ويتلاصقانِ، ذلك أن جزءًا من الطاقةِ الحركيَّةِ يتحوَّلُ إلى طاقتَيْنِ صوتيةٍ وداخلية، نتيجةً لتغيُّرِ شكلِ الجسمَيْنِ المتصادمَيْن.

تساهمُ هذه الظاهرةُ في مساعدتِنا على التمييزِ بين مفهومَي التصادمِ المرنِ واللامرنِ، والاستعمالِ الصحيحِ لهما عند التطبيق. نعتقدُ عادةً أن كلمةَ مرنٍ تدلُّ على شيءٍ له شكلٌ طبيعيٌّ يحافظُ عليه. إن أهمَّ خصائصِ التصادمِ المرنِ في الفيزياءِ هي محافظةُ الأجسامِ على أشكالِها الأساسيةِ دون حدوثِ أيِّ تغييرٍ نتيجةً لقوى التصادم. لكن في حالةِ التصادماتِ اللاَّمرنة، فإن أشكالَ الأجسامِ تتغيَّرُ وتفقدُ الأجسامُ جزءًا من طاقتِها الحركيَّة.

يمكنُ حسابُ النقصِ في الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ في التصادمِ اللامرنِ باستعمالِ معادلةِ الطاقةِ الحركيَّةِ كما في المثالِ 5 (و). ومن المهمِّ تأكيدُ الآتي: ليس من الضروريِّ فقدانُ كلِّ الطاقةِ الحركيَّةِ الابتدائيةِ في التصادمِ اللامرنِ تمامًا.

مثال 5 (و)

الطاقةُ الحركيَّةُ في تصادمٍ لامرنٍ تماماً

المسألة

تتصادمُ كرتانِ من الطينِ رأسيًّا بشكلٍ لامرنٍ تمامًا. كتلةُ الكرةِ الأولى 0.500 kg وسرعتُها الابتدائيةُ 4.00 m/s نحو اليمين، والكرةُ الثانيةُ كتلتُها 0.250 kg وسرعتُها الابتدائية 3.00 m/s نحو اليسار. ما السرعةُ النهائيةُ الكلّيةُ لكرتَي الطينِ المتلاصقَيْن بعد التصادم؟ ما مقدارُ النقصِ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للتصادم؟

الحلّ

المعطى: $m_1 = 0.500$ kg $\qquad m_2 = 0.250$ kg

$\vec{v}_{1,i} = 4.00$ m/s إلى اليمين $= +4.00$ m/s

$\vec{v}_{2,i} = 3.00$ m/s إلى اليسار $= -3.00$ m/s

المجهول: $\vec{v}_f = ?$ $\qquad \Delta KE = ?$

أستعملُ معادلةَ التصادمِ اللامرن.

$$\mathrm{m}_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = (m_1 + m_2)\vec{v}_f$$

$$\vec{v}_f = \frac{m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i}}{m_1 + m_2}$$

$$v_f = \frac{(0.500\ \text{kg})(4.00\ \text{m/s}) + (0.250\ \text{kg})(-3.00\ \text{m/s})}{0.500\ \text{kg} + 0.250\ \text{kg}}$$

$\boxed{\vec{v}_f = 1.67\ \text{m/s}}$ إلى اليمين

أستعملُ معادلةَ الطاقةِ الحركيَّةِ لحساب النقص في الطاقةِ الحركيَّة.

الحالةُ الابتدائية $KE_i = KE_{1,i} + KE_{2,i}$

$$KE_i = \frac{1}{2}m_1\, v^2_{1,i} + \frac{1}{2}m_2\, v^2_{2,i}$$

$$KE_i = \frac{1}{2}(0.500\ \text{kg})(4.00\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(0.250\ \text{kg})(-3.00\ \text{m/s})^2$$

$$KE_i = 5.12\ \text{J}$$

الحالةُ النهائية $KE_f = KE_{1,f} + KE_{2,f}$

$$KE_f = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)\, v^2_f$$

$$KE_f = \frac{1}{2}(0.750\ \text{kg})(1.67\ \text{m/s})^2 = 1.05\ \text{J}$$

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = 1.05\ \text{J} - 5.12\ \text{J}$$

$$\boxed{\Delta KE = -4.07\ \text{J}}$$

تدلُّ الإشارةُ السالبةُ على نقصٍ في الطاقةِ الحركيَّة.

تطبيق 5 (و)

الطاقةُ الحركيَّةُ في تصادمٍ لامرنٍ تمامًا

1. ينطلقُ سهمٌ كتلتُهُ 0.25 kg بسرعةِ 12 m/s في اتجاهِ الغرب، فيصطدمُ بهدفٍ كتلتُه 6.8 kg ويستقرُّ فيه.
   أ. ما السرعةُ النهائيةُ لكلا الجسمَيْنِ؟
   ب. ما النقصُ الحاصلُ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للتصادمِ؟
2. أثناء حصَّةٍ تدريبية، يركُلُ متعلِّمٌ كرةَ قدمٍ كتلتُها 0.40 kg بسرعةِ 8.5 m/s في اتجاهِ الجنوب، فتصيبُ دلوًا كتلتُها 0.15 kg مستقرَّةً على جانبها. تتحرَّكُ الدلوُ مع الكرةِ بعد التصادم.
   أ. ما السرعةُ النهائيةُ للدلوِ والكرةِ؟
   ب. ما النقصُ الحاصلُ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للتصادمِ؟
3. متزلِّجٌ على الجليدِ كتلتُه 56 kg يتحرَّكُ بسرعةِ 4.0 m/s في اتجاهِ الشمال، ويلتقي متزلِّجًا آخرَ كتلتُهُ 65 kg يتحرَّكُ بسرعةِ 12.0 m/s في الاتجاهِ المعاكس. يتابعُ المتزلِّجانِ سيرَهما معًا كجسمٍ واحدٍ دون أيِّ حركةٍ دورانيَّة.
   أ. ما السرعةُ النهائيةُ للمتزلِّجيْنِ؟
   ب. ما النقصُ الحاصلُ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للتصادمِ؟

التصادماتُ المرنة

عندَما يركُلُ لاعبٌ كرةَ قدمٍ يكونُ التصادمُ بين قدمِ اللاعبِ والكرةِ أقربَ إلى المرونةِ مقارنةً بالحالاتِ التي دُرِستْ سابقًا. كلمةُ «مرن» في هذه الحالةِ تعني أن قدمَ اللاعبِ والكرةَ تبقيانِ منفصلتَيْنِ بعد التصادم.

في **التصادمِ المرن** elastic collision، يصطدمُ جسمانِ الواحدُ بالآخرِ ثم يعودانِ إلى شكلِهما الأصليِّ دون تغيُّرٍ في الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّية. ويسيرُ الجسمانِ بعد التصادمِ منفصلَيْنِ. في حالةِ التصادمِ المرنِ يكونُ الزخمُ الكلِّيُّ محفوظًا، وكذلك الطاقةُ الحركيَّةُ الكلِّيَّة.

التصادم المرن
التصادمُ الذي يكونُ فيه كلٌّ من الزخمِ والطاقةِ الحركيَّةِ محفوظًا.

معظمُ التصادماتِ ليسَتْ مرنةً وليسَتْ لامرنةً تمامًا

معظمُ التصادماتِ في الحياةِ اليوميةِ ليست لامرنةً تمامًا، أي إن الأجسامَ المتصادمةَ لا تتلاصقُ في الغالب. إلا أن معظمَ التصادماتِ ليسَتْ مرنةً أيضًا. وحتى التصادماتُ القريبةُ من المرونةِ كتصادمِ كراتِ البليارِ أو تصادمِ قدمِ لاعبٍ بكرة، كلُّها تؤدّي إلى خسارةِ القليلِ من الطاقةِ الحركيَّة. وبما أن شكلَ الكرةِ يتغيَّرُ قليلاً عند ركلِها فإن جزءًا من طاقتِها الحركيَّةِ يتحوَّلُ إلى طاقةٍ مرونيةٍ داخلية. وفي الكثيرِ من التصادماتِ يتحوَّلُ جزءٌ من الطاقةِ الحركيَّةِ إلى صوت، كما يحدثُ عندما تتصاطدمُ كرات البليار. إن أيَّ تصادمٍ يُحدِثُ صوتًا يكونُ لامرنًا، فالصوتُ المنبعثُ يدلُّ على نقصٍ في الطاقةِ الحركيَّة.
تعتبرُ التصادماتُ المرنةُ واللامرنةُ تمامًا حالاتٍ حدِّية، ذلك أن معظمَ التصادماتِ

تقعُ بين حدَّيْن، وتُسمَّى تصادماتٍ لامرنةً، حيثُ تتصاطدمُ الأجسامُ وترتدُّ في اتجاهاتٍ مختلفةٍ بعد التصادم، إلا أن الطاقةَ الحركيَّةَ الكلِّيةَ تنقصُ أثناء التصادم.

حفظُ الطاقةِ الحركيّةِ في التصادماتِ المرنة

يُظهر **الشكلُ 12-5** تصادمًا رأسيًّا مرنًا بين كرتَيْ قدمٍ متساويتَي الكتلة. افترضْ، كما في الأمثلةِ السابقة، أن الكرتَيْنِ معزولتانِ على سطحٍ غيرِ احتكاكيٍّ لا يؤدّي إلى دورانِ أيٍّ منهما. تصطدمُ الكرةُ الأولى المتَّجهةُ نحو اليمينِ بالثانيةِ المنطلقةِ نحو اليسار. بالنظرِ إلى الكرتَيْنِ كنظامٍ واحد، يكونُ الزخمُ الكلّيُّ الابتدائيُّ في اتجاهِ اليسار.

بعد التصادم، ترتدُّ الكرةُ الأولى نحو اليسارِ والثانيةُ نحو اليمين. يكونُ مقدارُ زخمِ الكرةِ الأولى المرتدَّةِ نحو اليسارِ أكبرَ من مقدارِ زخمِ الكرةِ الثانيةِ التي تتحرَّكُ الآنَ نحو اليمين. باعتبارِ النظامِ الواحدِ للكرتَيْنِ، مرةً أخرى، يبقى الزخمُ الكلِّيُّ في اتجاهِ اليسارِ تمامًا كما كان قبل التصادم.

يعتبرُ التصادمُ بين مضربِ كرةِ الغولفِ والكرةِ مثلاً آخرَ على التصادماتِ شبهِ المرنة. عندما يصطدمُ المضربُ بالكرةِ الساكنة، تنطلقُ الكرةُ بسرعةٍ عاليةٍ وفي اتجاهِ حركةِ المضربِ نفسِه. يتابعُ المضربُ حركتَهُ في الاتجاهِ نفسِهِ لكن بمقدارِ سرعةٍ أقلّ، بحيث يكونُ النقصُ في زخمِ المضربِ مساويًا للزيادةِ في زخمِ الكرة. إذا كان التصادمُ مرنًا يبقى الزخمُ والطاقةُ الحركيَّةُ محفوظَيْنِ طوالَ عمليةِ التصادم.

الزخمُ والطاقةُ الحركيَّةُ محفوظانِ في التصادمِ المرن

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f}$$

$$\frac{1}{2}m_1v^2_{1,i} + \frac{1}{2}m_2v^2_{2,i} = \frac{1}{2}m_1v^2_{1,f} + \frac{1}{2}m_2v^2_{2,f}$$

تذكَّرْ أن إشارةَ $\vec{v}$ موجبةٌ إذا كانت حركةُ الجسمِ نحو اليمين، وسالبةٌ إذا تحرَّكَ الجسمُ نحو اليسار.

(أ) الحالةُ الابتدائية

(ب) الدفع

(ج) الحالةُ النهائية

$\vec{p}_A$ $\vec{p}_B$ $\Delta\vec{p}_A = \vec{F}\Delta t$ $\Delta\vec{p}_B = -\vec{F}\Delta t$ A B

الشكل 12-5

في التصادمِ المرن، كما في (ب) يحافظُ الجسمانِ على شكلَيْهما الأصليَّيْن ويتحرَّكانِ منفصلَيْنِ بعد التصادم.

نشاط عملي سريع

التصادماتُ المرنةُ واللامرنة

الموادّ

- ✓ كرتانِ أو ثلاثٌ من أنواعٍ مختلفة
- ✓ كتاب

إرشادات السلامة

قمْ بهذه التجربةِ في مكانٍ مفتوح. يفضَّلُ اجراؤها في الخارجِ بعيدًا عن الأثاثِ والأشخاص.

أسقطْ إحدى الكراتِ من ارتفاعِ الكتفِ نحو أرضٍ صلبةٍ أو ممرّ. لاحظْ حركةَ الكرةِ قبل اصطدامِها بالأرضِ وبعدَه. ثمَّ ادفعِ الكرةَ إلى أسفلَ من الارتفاعِ نفسِه. قُم بعدَّةِ محاولاتٍ وأعطِ الكرةَ في كلِّ مرَّةٍ سرعةً ابتدائيةً مختلفة. كرِّرِ التجربةَ مع الكراتِ الأخرى.
لاحظْ في كلِّ مرةٍ مقدارَ الارتفاعِ الذي ترتدُّ إليه كلُّ كرة. قدِّرِ التصادماتِ بدءًا بأكثرِها مرونةً وانتهاءً باللامرنة. اشرحْ أدلَّتَكَ لتأكيدِ أو نفيِ حفظِ الزخمِ وحفظِ الطاقةِ الحركيَّةِ في كلِّ عمليةِ تصادم. هل تعتقدُ، بناءً على ملاحظاتِك، أن معادلةَ التصادماتِ المرنةَ تصلحُ لتوقُّعِ النتائج؟

مثال 5 (ز)

التصادماتُ المرنة

المسألة

كرةٌ زجاجيةُ (بلّورة) كتلتُها 0.015 kg تتحرَّكُ بسرعةٍ 0.225 m/s نحو اليمين، فتصطدمُ رأسيًا بكرةٍ أخرى أكبرَ حجمًا كتلتُها 0.030 kg تتحرَّكُ بسرعةٍ ابتدائيةٍ 0.180 m/s نحو اليسار. ترتدُّ الكرةُ الأولى بعد التصادمِ إلى اليسارِ بسرعةِ 0.315 m/s. افترضْ غيابَ الاحتكاكِ وأيِّ حركةٍ دورانيةٍ للكرتَيْنِ قبل التصادمِ أو بعده. ما سرعةُ الكرةِ الثانيةِ بعد التصادم؟

الحلّ

1. أعرِّف

المعطى: $m_1 = 0.015\ \text{kg}$ $\quad m_2 = 0.030\ \text{kg}$

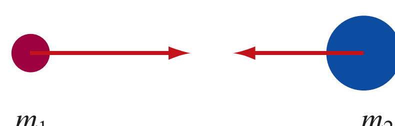
$\vec{v}_{1,i} = 0.225$ m/s إلى اليمين $= +0.225$ m/s

$\vec{v}_{2,i} = 0.180$ m/s إلى اليسار $= -0.180$ m/s

$\vec{v}_{1f} = 0.315$ m/s إلى اليسار $= -0.315$ m/s

المجهول: $\vec{v}_{2f} = ?$

الرسم:



2. أخطِّط

أختارُ معادلةً أو موقفًا: أستعملُ معادلةَ حفظِ الزخمِ الخطّيِّ كي أحسُبَ السرعةَ النهائيةَ للكرةِ الثانية

$$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1f} + m_2\vec{v}_{2f}$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لحسابِ المجهول: أُعيد ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ الثانية

$$m_2\vec{v}_{2f} = m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} - m_1\vec{v}_{1f}$$

$$\vec{v}_{2f} = \frac{m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} - m_1\vec{v}_{1f}}{m_2}$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحُلّ: إعادةُ الترتيبِ لمعادلةِ حفظِ الزخمِ الخطّيّ تمكنُ من عزلِ السرعةِ النهائيةِ للكرةِ الثانية وحسابِها.

$$v_{2f} = \frac{(0.015\ \text{kg})(0.225\ \text{m/s}) + (0.030\ \text{kg})(-0.180\ \text{m/s}) - (0.015\ \text{kg})(-0.315\ \text{m/s})}{0.030\ \text{kg}}$$

$$v_{2f} = \frac{(3.4 \times 10^{-3}\ \text{kg•m/s}) + (-5.4 \times 10^{-3}\ \text{kg•m/s}) - (-4.7 \times 10^{-3}\ \text{kg•m/s})}{0.030\ \text{kg}}$$

$$v_{2,f} = \frac{2.7 \times 10^{-3}\ kg \bullet m/s}{3.0 \times 10^{-2}\ kg}$$

$$\boxed{\vec{v}_{2,f} = 9.0 \times 10^{-2}\ m/s \text{ نحو اليمين}}$$

4. أقيِّم تأكَّدْ من صحَّةِ إجابتِكَ بالتحقُّقِ من حفظِ الطاقةِ الحركيَّة.

$$\frac{1}{2}m_1v^2_{1,i} + \frac{1}{2}m_2v^2_{2,i} = \frac{1}{2}m_1v^2_{1,f} + \frac{1}{2}m_2v^2_{2,f}$$

$$KE_i = \frac{1}{2}(0.015\ kg)(0.225\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(0.030\ kg)(-0.180\ m/s)^2$$

$$= 8.7 \times 10^{-4}\ kg \bullet m^2/s^2 = 8.7 \times 10^{-4}\ J$$

$$KE_f = \frac{1}{2}(0.015\ kg)(0.315\ m/s)^2 + \frac{1}{2}(0.030\ kg)(0.090\ m/s)^2$$

$$= 8.7 \times 10^{-4}\ kg \bullet m^2/s^2 = 8.7 \times 10^{-4}\ J$$

الطاقةُ الحركيَّةُ هي إذًا محفوظة.

تطبيق 5 (ز)

التصادماتُ المرنة

1. كرةٌ زجاجيةٌ كتلتُها 0.015 kg تنزلقُ إلى اليمين بلا احتكاكٍ بسرعةِ 22.5 cm/s، فتصطدمُ رأسيًّا بشكلٍ مرنٍ بكرةٍ أخرى كتلتُها 0.015 kg تتحرَّكُ إلى اليسارِ بسرعةِ 18.0 cm/s. الكرةُ الأولى تتحرَّكُ بعد التصادمِ نحو اليسارِ بسرعةِ 18.0 cm/s.

أ. جِدْ سرعةَ الكرةِ الثانيةِ بعد التصادم.

ب. تحقَّقْ من صحَّةِ إجابتِكَ بحسابِ الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ قبل التصادمِ وبعدَه.

2. قاربٌ طويلٌ كتلتُهُ 16.0 kg يبحرُ نحو اليسارِ بسرعةِ 12.5 m/s يتعرَّضُ لتصادمٍ رأسيٍّ مرنٍ مع زورقٍ بلاستيكيٍّ كتلتُهُ 14.0 kg يبحرُ إلى اليمينِ بسرعةِ 16.0 m/s. يرتدُّ الزورقُ بعد التصادمِ في اتجاهِ اليسارِ بسرعةِ 14.4 m/s. أهمِلْ أيَّ تأثيرٍ للماء.

أ. احسُبْ سرعةَ القاربِ بعد التصادم.

ب. تحقَّقْ من صحَّةِ إجابتِكَ بحسابِ الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ قبل التصادمِ وبعده.

3. تنزلقُ كرةُ «بولينغ» كتلتُها 4.0 kg نحو اليمينِ بسرعةِ 8.0 m/s، وتتعرَّضُ لتصادمٍ رأسيٍّ مرنٍ مع كرةٍ أخرى مستقرةٍ كتلتُها 4.0 kg. يؤدّي التصادمُ إلى توقُّفِ الكرةِ الأولى.

أ. احسُبْ سرعةَ الكرةِ الثانيةِ بعد التصادم.

ب. تحقَّقْ من صحَّةِ إجابتِكَ بحسابِ الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ قبل التصادمِ وبعده.

4. سيّارةٌ مزوَّدةٌ بمِصدمٍ كتلتُها 25.0 kg تصطدمُ رأسيًّا بسرعةِ 5.00 m/s إلى اليمينِ بسيّارةٍ أخرى كتلتُها 35.0 kg تسيرُ إلى اليمينِ أيضًا. بعد التصادمِ تنخفضُ سرعةُ السيّارةِ الأولى إلى 1.50 m/s نحو اليمين، وتتابعُ السيّارةُ الثانيةُ سيرَها نحو اليمينِ أيضًا بسرعةِ 4.50 m/s.

أ. احسُبْ سرعةَ السيارةِ الثانيةِ قبل التصادم.

ب. تحقَّقْ من صحَّةِ إجابتِكَ بحسابِ الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ قبل التصادمِ وبعده.

الجدول 2-5 أنواعُ التصادمات

نوعُ التصادم	الرسم	ما يحدثُ	الكمياتُ المحفوظة
لامرنٌ تمامًا	m_1, m_2, $\vec{v}_{1,i}$, $\vec{v}_{2,i}$, $\vec{p}_{1,i}$, $\vec{p}_{2,i}$, m_2+m_1, $\vec{v}_f$, $\vec{p}_f$	يتلاصقُ الجسمانِ المتصادمانِ ويتابعان سيرَهما بسرعةٍ واحدة	الزخمُ الخطّيّ
مرن	m_1, m_2, $\vec{v}_{1,i}$, $\vec{v}_{2,i}$, $\vec{p}_{1,i}$, $\vec{p}_{2,i}$, $\vec{v}_{1,f}$, $\vec{v}_{2,f}$, $\vec{p}_{1,f}$, $\vec{p}_{2,f}$	يرتدُّ الجسمانِ بعد تصادمِهما ويتحرَّكانِ بشكلٍ منفصل	الزخمُ الخطّي الطاقةُ الحركيَّة
لامرن	m_1, m_2, $\vec{v}_{1,i}$, $\vec{v}_{2,i}$, $\vec{p}_{1,i}$, $\vec{p}_{2,i}$, $\vec{v}_{1,f}$, $\vec{v}_{2,f}$, $\vec{p}_{1,f}$, $\vec{p}_{2,f}$	يتغيَّرُ شكلُ الجسمينِ بعد تصادمِهما بحيثُ تنخفضُ الطاقةُ الحركيَّةُ بعد التصادم، إلا أنهما يتابعانِ الحركةَ منفصلَيْن.	الزخمُ الخطّي

مراجعةُ القسم 3-5

.1 أعطِ مثالَيْن على التصادماتِ المرنةِ ومثالَيْن على التصادماتِ اللامرنةِ تمامًا.

.2 يصطدمُ لاعبٌ كتلتُهُ 95.0 kg بسرعةِ 5.0 m/s نحو الجنوب بشكلٍ لامرنٍ تمامًا بلاعبٍ آخرَ كتلتُهُ 90.0 kg يعدو بسرعةِ 3.0 m/s في اتجاهِ الشمال.

أ. احسبْ سرعةَ اللاعبَيْن بعد الالتحامِ مباشرة.

ب. احسُبِ النقصَ الحاصلَ في الطاقةِ الحركيَّةِ الكلِّيةِ نتيجةً للتصادم.

.3 تتصادمُ كرتا قدمٍ كتلةُ كلٍّ منهما 0.40 kg بشكلٍ رأسيٍّ ومرن. كانت الكرةُ الأولى قبل التصادمِ ساكنة، بينما كانت السرعةُ الابتدائيةُ للكرةِ الثانيةِ 3.5 m/s. يؤدّي التصادمُ إلى توقُّفِ الكرةِ الثانيةِ عن الحركة.

أ. ما السرعةُ النهائيةُ للكرةِ الأولى؟

ب. ما الطاقةُ الحركيَّةُ للكرةِ الأولى قبل التصادم؟

ج. ما الطاقةُ الحركيَّةُ للكرةِ الثانيةِ بعد التصادم؟

.4 **تفكيرٌ ناقد** عندما تتصادمُ سيّارتانِ فإنهما عادةً لا تتلاصقان. هل يعني ذلك أن التصادمَ مرن؟

.5 **تفكيرٌ ناقد** تصطدمُ كرةٌ مطاطيةٌ بشكلٍ مرنٍ بأرضِ الممرّ.

أ. هل تساوي الطاقةُ الحركيَّةُ لكلِّ جسمٍ بعد التصادمِ طاقتَهُ الحركيَّةُ قبل التصادم؟ اشرحْ.

ب. هل يساوي زخمَ كلِّ جسمٍ بعد التصادمِ زخمَهُ قبل التصادم؟ اشرحْ.

مِهَنُ الفيزياء

أستاذُ تعليمٍ إعداديّ

يساعدُ أساتذةُ الفيزياءِ طلاّبهم على فهمِ هذا الفرعِ من العلومِ سواءً في غرفةِ الصفّ أو في الحياةِ العمليَّة. للتعرُّفِ أكثر إلى مهنةِ تدريس الفيزياءِ، اقرأ هذه المقابلةَ مع ليندا راش التي تدرِّسُ الفيزياء في إحدى المدارس في ولايةِ أركانساس الأميركيَّة.

ما الذي يفعلُه أستاذُ الفيزياءِ يوميًّا؟

أُدرِّسُ ما بين 100 و 300 تلميذٍ في مناطقَ مختلفةٍ كلّ يوم. كما أعتني بمختبرِ الفيزياءِ والأجهزةِ الموجودةِ فيه، وهذا عملٌ صعبٌ لكنَّه ضروريٌّ للمادَّة. كما أنّ على أساتذةِ الفيزياءِ أن يتابعوا دوراتٍ تدريبيَّةً مختلفةً للاطّلاعِ على المستجدّاتِ في مجالِ تخصُّصهم.

ما الشهاداتُ التي حصلْتِ عليها لتصبحينَ أستاذة فيزياء؟

لديّ شهادتان: الأولى ليسانس في تدريسِ العلومِ الفيزيائيَّةِ، والثانية في مجالِ الطبّ. إلاّ أنني غيَّرْتُ رأيي لاحقًا وأصبحتُ أستاذةَ فيزياء. بدأْتُ بالعملِ كأستاذةِ رياضيّات، لكنّني انتقلْتُ إلى الفيزياء لأنّني أحبُّ التطبيقاتِ العمليَّة.

هل كان لأسرتِك تأثيرٌ في اختيارِك لهذه المهنة؟

لم يذهبْ أيٌّ من والديّ إلى الجامعة، إلاّ أنهما أحبّا الأعمالَ اليدويَّة والتطبيقيَّة. قاما ببناءِ بيتٍ يعملُ على الطاقةِ الشمسيَّةِ في سبعيناتِ القرنِ الماضي. كان والدي يرمِّمُ السيّاراتُ القديمةَ ووالدتي مُبرمجة حاسوب. كما أرادا أن نعتمدَ أنا وأختي على أنفسِنا، لذلك تعلَّمْنا القيامَ بكافَّةِ الأمورِ وإصلاحِ كافَّة الأجهزة.

ما أفضلُ ما تحبّينَه في عملِك؟

أحبُّ مراقبةَ طلاّبي وهم يتعلَّمون ويستضيؤون بنورِ المعرفةِ. يمكنُ للطلاَّبِ أن يتعلّموا الكثيرَ من بعضهم.



تستمتعُ ليندا راش بالعملِ مع الطلاّبِ، خصوصًا خلالَ الحصصِ التطبيقيَّة.

أتمنّى أن يتَّجهَ المزيدُ من الطلاَّبِ نحو دراسةِ الفيزياء. إلاَّ أنَّ طلاّبي يخافون من هذه التجربةِ وليسَ لديهم الثقةُ الكبيرةُ في أنفسِهم.

ما الذي يفاجئُ طلاّبَك في حياتِك الشخصيَّة؟

يتفاجأُ طلاّبي عند معرفتِهم بأنّني أمارسُ ركوبَ الزوارقِ وأحبُّ السيرَ في الجبالِ لمسافاتٍ طويلة، وأنّني أم لخمسِ بنات. قد ينسى الطلاّب أحيانًا أن الأستاذ إنسانٌ كأيّ إنسانٍ آخر.

ما النصيحةُ التي تودّينَ إسداءها لطلاّبك الذي يودّون أن يصبحوا أساتذة فيزياء؟

أوصيهم بدراسةِ أكبر عددٍ ممكنٍ من المقرَّراتِ المختبريَّة والقيامِ بكلٍّ ما يستطيعون من التجاربِ التطبيقيَّةِ للاستفادةِ منها في صفوفِهم لاحقًا. كذلك عليهم توسيعُ قاعدةِ معلوماتِهم في العلومِ الأخرى، وألاّ يقتصرَ اهتمامُهم على مجالٍ علميٍّ واحد. وإن الذي ساعدَني في حياتي هو أنّني لسْتُ فيزيائيَّةً فقط، بل لديّ معلوماتٌ متشعِّبةٌ حصلْتُ عليها خلالَ تدريسي لكافَّةِ فروعِ العلومِ والرياضيّات.

ملخّصُ الفصل 5

مصطلحاتٌ أساسية

الزخمُ الخطّيّ
(ص 140) Linear momentum

الدَفْع
(ص 142) Impulse

التصادمُ اللامرنُ تمامًا
(ص 154) Perfectly inelastic collision

التصادمُ المرن
(ص 158) Elastic collision

أفكارٌ أساسية

القسم 5-1 الزخمُ الخطّيُّ والتصادمات

- الزخمُ الخطّيُّ كمّيةٌ اتِّجاهيَّةٌ تساوي حاصلَ ضربِ كتلةِ جسمٍ في سرعتِهِ $\vec{p} = m\vec{v}$.
- تؤدّي محصِّلةُ قوًى خارجيةٍ مطبَّقةٍ بشكلٍ دائمٍ على جسمٍ لفترةٍ زمنيةٍ محدَّدةٍ إلى تغيُّرٍ في زخمِ الجسمِ يساوي حاصلَ ضربِ تلك المحصِّلةِ في الفترةِ الزمنيةِ $\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p}$.
- إن حاصلَ ضربِ قوَّةٍ ثابتةٍ مطبَّقةٍ على جسمٍ في مدَّةِ تطبيقِها يُسمَّى دَفْعَ القوَّةِ في الفترةِ الزمنيةِ المذكورة.

القسم 5-2 قانونُ حفظ الزخم الخطّيّ

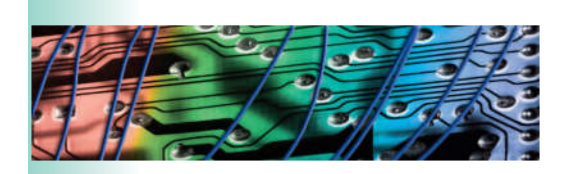
- يكونُ الزخمُ محفوظًا في كافَّةِ التفاعلاتِ المتبادلةِ بين الأجسامِ المعزولة.
- في كلِّ تفاعلٍ متبادلٍ بين جسمَيْنِ معزولَيْن، يكونُ التغيُّرُ في زخمِ الجسمِ الأوّلِ مساويًا في المقدارِ ومعاكسًا في الاتجاه للتغيُّرِ في زخمِ الجسمِ الثاني.

القسم 5-3 التصادماتُ المرنةُ واللاَّمرنة

- في التصادماتِ اللامرنةِ تمامًا يتلاصقُ الجسمان، ويتحرَّكانِ بعد التصادمِ كجسمٍ واحد.
- الزخمُ محفوظ، ولكن الطاقةَ الحركيَّةَ غيرُ محفوظٍ في التصادماتِ اللاَّمرنةِ تمامًا.
- في التصادماتِ اللاَّمرنةِ، يتحوَّلُ جزءٌ من الطاقةِ الحركيَّةِ إلى طاقةٍ كامنةٍ داخليةٍ مرونية، عندما يتغيَّرُ شكلُ الأجسامِ المتصادمة. كما يتحوَّلُ جزءٌ آخرُ من الطاقةِ الحركيةِ إلى طاقةٍ صوتيةٍ وطاقةٍ داخلية.
- بعد التصادماتِ المرنةِ يعودُ الجسمانِ إلى شكلَيْهما الأصليَّيْن، ويتابعانِ حركتَيْهما منفصلَيْن.
- يكونُ كلٌّ من الزخمِ والطاقةِ الحركيَّةِ محفوظًا في التصادمِ المرن.
- القليلُ من التصادماتِ تكونُ مرنةً أو لامرنةً تمامًا.

رموزُ المتغيِّرات

الكميّة		الوحدة
$\vec{p}$	الزخمُ الخطّيّ	kg•m/s كيلوغرام • مترٌ/ثانية
$\vec{F}\Delta t$	الدفع	N•s نيوتن • ثانية = كيلوغرام • متر/ثانية



مراجعةُ الفصل 5

راجعْ وقيِّمْ

الزخمُ الخطّيُّ والدفع

أسئلةُ مراجعة

1. إذا كانت الطاقةُ الحركيَّةُ لجسمٍ صفرًا، فكم يكونُ زخمُه؟

2. إذا كان لجسمَيْنِ الطاقةُ الحركيَّةُ نفسُها، فهل يكونُ لهما الزخمُ نفسُه؟ اشرح.

3. برهنْ أن المعادلةَ $\vec{F} = m\vec{a}$ مكافئةٌ للمعادلة $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$.

أسئلةٌ حول المفاهيم

4. تتحرَّكُ شاحنةٌ محمّلةٌ بالرملِ على طريقٍ سريعٍ في خطٍّ مستقيم.

أ. ماذا يحدثُ لزخمِ الشاحنةِ إذا ازدادَت سرعتُها؟

ب. ماذا يحدثُ لزخمِ الشاحنةِ إذا كان الرملُ يتساقطُ من فجوةٍ في صندوقِها بمعدَّلٍ معيَّن، بينما تبقى سرعتُها ثابتة؟

5. يمارسُ الرياضيونَ رياضتَهم عادةً على فراشٍ مقوّى. استعملْ معادلةَ الدفعِ – الزخمِ الخطّيِّ لتشرحَ كيف يساعدُ الفراشُ في حمايةِ الرياضيين.

6. عندما تتعرَّضُ سيّارةٌ لحادثِ تصادمٍ، ينتفخُ كيسٌ هوائيٌّ ليحميَ المسافرينَ من الإصاباتِ الخطرة. كيف يؤدّي هذا الكيسُ إلى التقليلِ من أثرِ التصادم؟ اشرحِ المفهومَ الفيزيائيَّ بدلالةِ الدفعِ والزخم.

7. إذا قفزْتَ عن الطاولةِ إلى الأرض، هل تتعرَّضُ لأذًى أكبرَ إذا كانت رجلاكَ مسترخيتَيْنِ أم إذا كانتا مشدودتَيْنِ وركبتاك جامدتان؟ اشرحْ.

8. افترض أن لأفرادِ مجموعةٍ كبيرةٍ من الحشراتِ الكتلةَ نفسَها.

أ. إذا كان الزخمُ الكلّيُّ للحشراتِ صفرًا، فماذا يعني ذلك لحركتِها؟

ب. إذا كانت الطاقةُ الحركيَّةُ الكلّيةُ للحشراتِ صفرًا، فماذا يعني ذلك لحركتِها؟

9. يحمل متعلّمانِ ملاءةَ سريرٍ من أطرافِها وهي مرخيةٌ ليستعملاها كشبكةِ التقاط. يطلبُ المعلّمُ إلى متعلّمٍ ثالثٍ أن يرميَ بيضةً بقوةٍ في منتصفِ الملاءة. لماذا لا تتكسرُ البيضة؟

10. كيف تساهمُ في حمايةِ السائقِ مصادمُ السياراتِ التي تتعوَّجُ نتيجةً للتصادمات؟

مسائلُ تطبيقية

11. احسبِ الزخمَ في كلٍّ من الحالاتِ التالية:

أ. بروتون كتلتُهُ 1.67×10^{-27} kg يتحرَّكُ بسرعةِ 5.00×10^{6} m/s رأسيًّا إلى أعلى.

ب. رصاصةٌ كتلتُها 15.0 g تنطلقُ بسرعةِ 325 m/s إلى اليمين.

ج. عدَّاءٌ كتلتُهُ 75.0 kg يعدو بسرعةِ 10.0 m/s في اتجاهِ الجنوبِ الغربي.

د. الكرةُ الأرضيةُ ($m = 5.98 \times 10^{24}$ kg) تدورُ في مدارِها بسرعةِ 2.98×10^{4} m/s.

12. تصطدمُ كرةٌ كتلتُها 2.5 kg بجدارٍ بسرعةِ 8.5 m/s إلى اليسار. ترتدُّ الكرةُ عن الجدارِ بسرعةِ 7.5 m/s في اتجاهِ اليمين. إذا بقيَتِ الكرةُ ملامسةً للجدارِ مدَّة 0.25 s، فما القوَّةُ الثابتةُ التي يؤثِّرُ بها الجدارُ في الكرة؟

13. يركُلُ لاعبٌ كرةً كتلتُها 0.55 kg فتتسارعُ من السكونِ إلى سرعةِ 8.0 m/s في 0.25 s. ما القوَّةُ الثابتةُ التي يؤثرُ بها اللاعبُ في الكرة؟

14. يلتقطُ أحدُ اللاعبينَ كرةً كتلتُها 0.15 kg وسرعتُها +26 m/s، فتتوقَّفُ نتيجةً لقوَّةٍ ثابتة 390 N– يؤثِّرُ بها اللاعبُ في الكرة. كم من الزمن لزمَ هذه القوَّةَ لإيقافِ الكرة؟ ما المسافةُ التي قطعتْها الكرةُ قبل توقُّفِها؟

قانونُ حفظُ الزخمِ الخطّيّ

أسئلةُ مراجعة

15. يدفعُ متزلّجانِ ساكنانِ أحدُهما الآخرَ فيسيرانِ في اتجاهينِ متعاكسَيْن. ما الزخمُ الكلّيُّ للمتزلّجَيْنِ عند بداية تحرُّكِهما؟ اشرحْ.

16. يكونُ الزخمُ الكلّيُّ محفوظًا عند تصادمِ كرتَيْ قدم. هل زخمُ كلٍّ منهما محفوظ؟ اشرحْ.

17. اشرحْ حفظَ الزخمِ الخطّيِّ لكرةٍ عند ارتدادِها بعد اصطدامِها بالأرض.

أسئلةٌ حول المفاهيم

18. هل يزدادُ زخمَ كرةٍ عندما تسقطُ نحو الأرض؟ كيف تفسِّرُ ذلك في ضوءِ حفظِ الزخمِ الخطّيّ؟

19. اقترحَ العلماءُ في مطلعِ القرنِ العشرينَ إرسالَ صاروخٍ إلى القمر. أثارَ المعارضونَ لهذا الاقتراحِ فكرةَ وجودِ فراغٍ بين الأرضِ والقمر، أي غيابَ أيِّ شيءٍ تدفعُهُ الغازاتُ المنطلقةُ من الصاروخِ إلى الوراء، وهو ما يمكِّنُ الصاروخَ من التحرُّكِ إلى الأمام. لحسمِ الجدال، وضعَ أحدُ العلماءِ المتحمّسينَ للفكرةِ بندقيةً في منطقةِ فراغٍ وأطلقَ منها طلقةً فارغة، فانطلقت منها غازاتٌ حارةٌ فقط ناتجةٌ عن احتراقِ مسحوقِ البارود. ماذا حدثَ عند انطلاقِ الطلقة؟ اشرحْ إجابتَك.

20. وجدَ أحدُ روّادِ الفضاءِ نفسَهُ بعيدًا عن مركبتِهِ الفضائية بعد انقطاعِ الحبلِ الذي يربطُهُ بها، وكان معه آلةُ تصوير. في غيابِ أيِّ جهازٍ للدفع، ماذا يمكنُ لرائدِ الفضاءِ أن يفعلَ ليعودَ إلى المركبة؟

21. ماذا يحصلُ لمسدَّسٍ عند انطلاقِ رصاصةٍ منه؟ اشرحْ إجابتَكَ مستعملاً مبادئَ الزخمِ المشروحةَ في هذا الفصل.

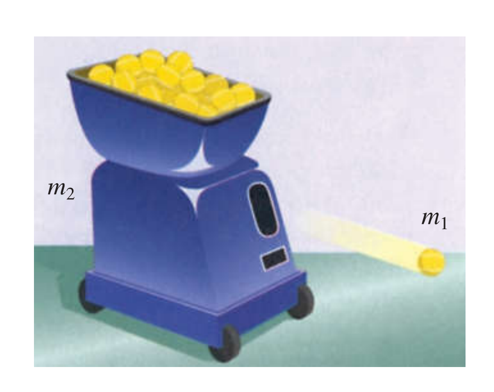
مسائلُ تطبيقية

22. يسيرُ متزلِّجٌ كتلتُهُ 65.0 kg إلى اليمينِ بسرعةِ 2.50 m/s، ويرمي كرةَ ثلجٍ كتلتُها 0.150 kg نحو اليمين بسرعةِ 32.0 m/s بالنسبةِ إلى الأرض.

أ. ما سرعةُ المتزلّجِ بعد رميِهِ الكرة؟ أهمِلِ الاحتكاكَ بين المتزلّجِ والجليد.

ب. متزلِّجٌ آخرُ ساكنٌ، كتلتُهُ 60.0 kg، يلتقطُ الكرةَ المقذوفة. ما سرعةُ هذا المتزلّجِ بعد التقاطِهِ كرةَ الثلجِ في تصادمٍ لامرنٍ تمامًا؟

23. يَستعملُ لاعبُ كرةِ المضربِ جهازًا لقذفِ الكراتِ كتلتُهُ 55 kg على أرضٍ لا احتكاكية، كما في **الشكل 5-13**. يُطلِقُ الجهازُ كرةَ مضربٍ كتلتُها 0.057 kg بشكلٍ أفقيٍّ وبسرعةِ 36 m/s في اتجاه الشمال. ما السرعةُ النهائيّةُ للجهاز؟



الشكل 5-13

التصادماتُ المرنةُ واللاّمرنة

أسئلةُ مراجعة

24. افترضْ أن تصادمًا رأسيًّا لامرنًا تمامًا حدثَ بين سيارةٍ صغيرةٍ وشاحنةٍ كبيرةٍ تسيرانِ بسرعتَيْنِ متساويتَيْنِ في المقدارِ ومتعاكستَيْنِ في الاتجاه. أيُّ المركبتَيْنِ تتعرَّضُ لتغيُّرٍ أكبرَ في طاقتِها الحركيَّة إثرَ التصادم؟

25. تعلمُ كتلةَ كلٍّ من جسمَيْنِ وسرعتَيْهما الابتدائية والنهائية في عمليةِ تصادمٍ رأسيٍّ، حدِّدْ نوعَ التصادم: أهو مرن، أم لامرن، أم لامرن تمامًا؟ اشرحْ.

26. هل يكونُ لجسمينِ بعد تصادمِهما المرنِ الطاقةُ الحركيَّةُ نفسُها التي كانت لهما قبل التصادم؟ اشرحْ.

27. إذا تصادمَ جسمانِ وكان أحدُهما ساكنًا، هل يمكنُ أن يصبحا ساكنَيْنِ بعد التصادم؟ اشرحْ.

مسائلُ تطبيقية

28. تتصادمُ عربتانِ كتلتاهما 4.0 kg و 3.0 kg على مسارٍ لا احتكاكيٍّ بسرعتَيْ 5.0 m/s و 4.0 m/s على التوالي، وتتلاصقانِ بعد التصادم. ما سرعتُهما النهائيةُ إذا كان التصادمُ رأسيًّا؟

29. ينزلقُ لوحٌ انزلاقيٌّ كتلتُه 1.20 kg على رصيفٍ بسرعةِ 5.00 m/s. تسقطُ هرَّةٌ كتلتُها 0.800 kg من شجرةٍ رأسيًّا على اللوح. ما سرعةُ اللوحِ بعد سقوطِ الهرَّةِ عليه؟

30. تصطدمُ سيَّارةٌ كتلتُها 2.00×10^4 kg وسرعتُها 3.00 m/s بسيّارتَيْنِ موصولتَيْنِ إحداهُما بالأخرى كتلة كل منهما 2.00×10^4 kg وسرعتُهما 1.20 m/s في الاتجاهِ نفسهِ لسرعةِ السيّارةِ الأولى. تتلاصقُ السيّارةُ الأولى بالسيّارتَيْنِ الموصولتَيْن بعد التصادمِ المباشر.

أ. ما السرعةُ المشتركةُ للسيّاراتِ الثلاثِ بعد التصادم؟

ب. ما النقصُ الناشئُ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للحادث؟

31. لاعبٌ كتلتُهُ 88 kg يسيرُ نحو الشرقِ بسرعةِ 5.0 m/s، يتعرَّضُ لإعاقةٍ من لاعبٍ آخرَ كتلتُه 97 kg يعدو نحو الغربِ بسرعةِ 3.0 m/s، فيكون تصادمُهما لامرنًا تمامًا. احسبْ:

أ. سرعةَ اللاعبَيْنِ بعدَ الإعاقة.

ب. النقصَ في الطاقةِ الحركيَّةِ نتيجةً للتصادم.

32. تنزلقُ قطعةُ نقودٍ معدنيةٌ كتلتُها 5.0 g إلى اليمينِ بسرعةِ 25.0 cm/s وتصطدمُ رأسيًّا وبشكلٍ مرنٍ بقطعةِ نقودٍ أخرى مستقرَّةٍ كتلتُها 15.0 g. تتابعُ القطعةُ الأولى سيرَها بعد التصادمِ إلى اليمينِ بسرعةِ 12.5 cm/s.

أ. احسُبِ السرعةَ النهائيةَ للقطعةِ الثانية.

ب. احسبْ الطاقةَ الحركيَّةِ المنتقلةَ إلى القطعةِ الثانية.

33. تصطدمُ كرةُ بليارٍ تتحرَّكُ بسرعةِ 4.0 m/s بشكلٍ رأسيٍّ ومرنٍ بكرةٍ أخرى ساكنة، ولها الكتلةُ نفسُها. إذا توقَّفتِ الكرةُ الأولى عن الحركةِ بعد التصادمِ، فكم تكونُ سرعةُ الكرةِ الثانية؟

34. تصطدمُ كرةٌ زجاجيةٌ كتلتُها 25.0 g تتحرَّكُ يمينًا بسرعةِ 20.0 cm/s بشكلٍ مرنٍ بكرةٍ أخرى كتلتُها 10.0 g تتحرَّكُ في الاتجاهِ ذاتِه وبسرعةِ 15.0 cm/s. تتابعُ الكرةُ الثانيةُ سيرَها يمينًا بعد التصادمِ بسرعةِ 22.1 cm/s. ما سرعةُ الكرةِ الأولى بعد التصادم؟

مراجعةٌ عامَّة

35. كرةُ بيسبول، كتلتُها 0.147 kg وزخمُها $p = 6.17$ kg•m/s عند انطلاقِها نحو الهدف. ما سرعتُها؟

36. تبلغُ الطاقةُ الحركيَّةُ لجسمٍ متحرِّكٍ 150 J وزخمُهُ 30.0 kg•m/s. جِدْ سرعتَهُ وكتلتَه.

37. أُطلِقتْ كرةُ عجينٍ كتلتُها 0.10 kg رأسيًّا إلى أعلى بسرعةِ 15 m/s.

أ. جِدْ زخمَ الكرةِ عند وصولِها إلى أقصى ارتفاع.

ب. جِدْ زخمَ الكرةِ لدى وصولِها إلى منتصفِ الارتفاعِ الأقصى.

38. تتعرَّضُ كرةُ طينٍ كتلتُها 3.00 kg لتَصادمٍ لامرنٍ تمامًا مع كرةِ طينٍ أخرى ساكنة. تتلاصقُ الكرتانِ وتتابعانِ سيرَهما معًا بسرعةٍ مقدارُها ثلثُ السرعةِ الابتدائيةِ للكرةِ الأولى. ما كتلةُ الكرةِ الثانية؟

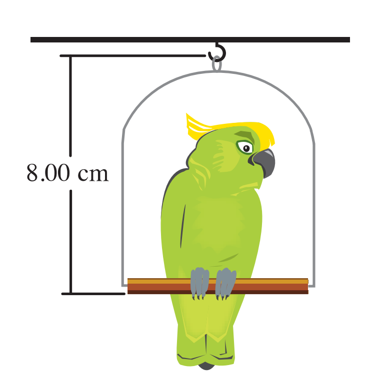
39. أُطلقَ سهمٌ كتلتُه 5.5 g نحو قالبٍ خشبيٍّ ساكنٍ كتلتُهُ 22.6 g مستقرٍّ على عمودٍ يرتفعُ 1.5 m عن الأرض. يهبطُ القالبُ والسهمُ بعد التصادمِ عند نقطةٍ تبعدُ 2.5 m عن أسفلِ العمود. ما السرعةُ الابتدائيةُ للسهم؟

40. يقفُ متعلِّمٌ وزنُهُ 730 N وسطَ بركةٍ متجمِّدةٍ نصفُ قُطرِها 5.0 m، ويعجزُ عن الانتقالِ إلى الطرفِ الآخرِ نتيجةً لفقدانِ الاحتكاكِ بين حذائِهِ والجليد. لحلِّ هذه المشكلةِ يرمي جسمًا، كتلتُه 2.6 kg، بشكلٍ أفقيٍّ في اتجاهِ الشمالِ بسرعةِ 5.0 m/s. كم يستغرقُ المتعلِّمُ ليصلَ إلى الجانبِ الجنوبيِّ من البركة؟

41. تنطلقُ كرةُ غولف كتلتُها 0.025 kg بسرعةِ 18.0 m/s، فتهشِّمُ زجاجَ نافذةِ منزلٍ بقوَّةٍ ثابتةٍ خلالَ 5.0×10^{-4} s. تتابعُ الكرةُ سيرَها بعد التصادمِ في الاتجاهِ نفسِه، لكنْ بسرعةِ 10.0 m/s. ما مقدارُ القوَّة الثابتةِ هذه؟

42. سيّارةٌ كتلتُها 1550 kg تتحرَّكُ جنوبًا بسرعةِ 10.0 m/s، فتصطدمُ بسيّارةٍ أخرى كتلتُها 2550 kg متجهةٍ شمالاً. تتلاصقُ السيّارتان، وتتابعانِ سيرَهما شمالاً بسرعةِ 5.22 m/s. جِدْ سرعةَ السيّارةِ الثانيةِ قبل التصادم.

43. كتلةُ العصفورِ الواقفِ على الأرجوحة (**الشكل 5-14**) 52.0 g، وكتلةُ قاعدةِ الأرجوحةِ 153 g. إذا طارَ العصفورُ بسرعةٍ أفقيةٍ مقدارُها 2.00 m/s بدءًا من السكون، فكم ترتفعُ قاعدةُ الأرجوحةِ عن موقعِها الابتدائي؟ أهمِلْ قوى الاحتكاك.



الشكل 5-14

44. يعملُ رائدُ فضاءٍ كتلتُه 85.0 kg على محرِّكِ سفينةٍ فضائيةٍ تتحرَّكُ في الفضاءِ بسرعةٍ ثابتة. يلتفتُ الرائدُ نحو الكرةِ الأرضيةِ ثم يرى نفسَهُ بعد ثوانٍ على بُعدِ 30.0 m من السفينة. الطريقةُ الوحيدةُ للعودةِ إلى السفينةِ هي أن يرميَ الرائدُ مفكًّا في الاتّجاهِ المعاكس. إذا كانتْ كتلةُ المفكِّ 0.500 kg وتمَّ رميُهُ بسرعةِ 20.0 m/s، فكم من الزمنِ يلزمُ الرائدَ ليعودَ إلى سفينتِهِ الفضائية؟

45. تصطدمُ سيارةٌ كتلتُها 2250 kg وسرعتُها 10.0 m/s بسيّارةٍ أخرى كتلتُها 2750 kg متوقِّفةٍ عند إشارةٍ ضوئية. تتلاصقُ السيّارتانِ، وتتابعانِ الحركةَ معًا مسافةَ 2.50 m قبل توقّفِهما بسببِ الاحتكاك. حدِّدْ مُعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بين السيّارتَيْنِ والطريق، مفترضًا أن التعجيلَ السالبَ ثابتٌ وأن جميعَ عجلاتِ السيّارتَيْنِ قد توقَّفَتْ عن الدورانِ نتيجةً للحادث.

46. تؤثِّرُ قوَّةٌ من 2.5 N في اتجاهِ اليمينِ على جسمٍ ساكنٍ كتلتُه 1.5 kg لمدةِ 0.50 s.

أ. ما السرعةُ النهائيةُ للجسمِ الذي كان ساكنًا؟

ب. ما السرعةُ النهائيةُ للجسمِ إذا كان يتحرَّكُ قبل تطبيقِ القوَّةِ نحو اليسارِ بسرعةِ 2.0 m/s؟

47. كُرتا بليارٍ متشابهتانِ تتحرَّكانِ في اتجاهَيْنِ متعاكسَيْنِ، وتتعرَّضانِ لتصادمٍ رأسيٍّ مرن. إذا كانَ مقدارُ سرعةِ كلٍّ منهما قبل التصادمِ 22 cm/s، فما مقدارُ سرعةِ كلٍّ منهما بعد التصادمِ مباشرة؟

48. أُسقطَ كيسٌ من الملابسِ كتلتُه 7.50 kg من السكون عن ارتفاعِ 3.00 m.

أ. ما سرعةُ الكرةِ الأرضيةِ نحو الكيسِ قبيل ارتطامِهِ بها علمًا بأن كتلةَ الكرةِ الأرضيةِ تساوي 5.98×10^{24} kg؟

ب. استعملْ إجابتَكَ في الفرع (أ) لتبريرِ إهمالِ حركةِ الكرةِ الأرضيةِ عند دراسةِ حركةِ الأجسامِ على سطحِها.

49. قافزٌ بالزانةِ كتلتُه 55 kg يسقطُ من السكون، عن ارتفاعِ 5.0 m على فراشٍ مطاطيّ، ويصلُ إلى السكونِ بعد 0.30 s من ارتطامِهِ بالفراش.

أ. احسبْ سرعةَ هذا الرياضيِّ قبيلَ وصولِهِ إلى الفراش.

ب. احسبِ القوَّةَ الثابتةَ التي تؤثِّرُ في القافزِ أثناءَ التصادم.

50. تتفكَّكُ نواةٌ كتلتُها 17.0×10^{-27} kg من السكونِ إلى ثلاثةِ جسيمات. أحد هذه الجسيمات، وكتلتُه 5.0×10^{-27} kg، ينطلقُ في اتجاهِ المحورِ y الموجبِ بسرعةِ 6.0×10^{6} m/s، بينما يتابعُ الجسيمُ الثاني، وكتلتُهُ 8.4×10^{-27} kg، حركتَهُ في اتجاهِ المحورِ x الموجبِ بسرعةِ 4.0×10^{6} m/s. جِدْ سرعةَ الجسيمِ الثالثِ (مقدارًا واتجاهًا). (افترضْ حفظَ الكتلة)

المشاريع والتقارير

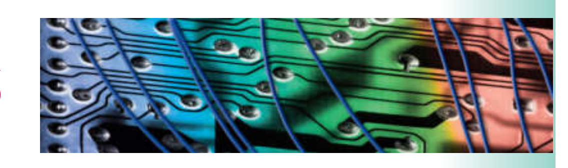
1. صمِّمْ تجربةً للتحقُّقِ من قانونِ حفظِ الزخمِ الخطِّيّ. يمكنُكَ استعمالُ العرباتِ الصغيرةِ أو السيّاراتِ-اللُّعب أو أيّ أجسامٍ مناسبة. استعرضْ أنواعًا مختلفةً من التصادماتِ بما فيها التصادماتُ المرنةُ والتصادماتُ اللامرنةُ تمامًا. قمْ بالتجربةِ بعد موافقةِ معلِّمِك عليها. اكتبْ تقريرًا تضمِّنُه النتائجَ التي حصلْتَ عليها.

2. صمِّمْ تجربةً تُستعمَلُ فيها عربةٌ متحرِّكةٌ وبعضُ الأجهزةِ المتوافرة اللازمةِ للتحقُّقِ مما إذا كان الاصطدامُ بعائقٍ فولاذيٍّ أسلمَ من الاصطدامِ بوعاءٍ مملوءٍ بالرمل. كيف تقيسُ القوى المؤثِّرةَ في العربةِ لدى اصطدامِها بالعائق؟ قُمْ بالتجربةِ إذا وافقَ معلِّمُك.

3. احصلْ على شريطِ فيديو يصوِّرُ إحدى فرقِ مدرستِك أثناءَ إحدى المباريات. قُمْ بالتعليقِ خطوةً خطوةً على جزءٍ من المباراة، واشرحِ التغيُّراتِ في الزخمِ والطاقةِ الحركيّةِ خلالَ التصادماتِ والتلاصقاتِ التي تحدثُ في هذا الجزءِ من المباراة.

4. استعملْ معلوماتِك حولَ الزخمِ والدفعِ لتصميمِ وعاءٍ توضعُ فيه بيضةٌ ويحميها من الانكسارِ لدى سقوطِها من الطابقِ الثاني إلى الأرض. لا تستعملْ جهازًا يقلِّلُ مقاومةَ الهواءِ كالمظلَّةِ مثلاً. قمْ بفحصِ الجهازِ من خلالِ القيامِ بالتجربةِ. إذا انكسرَتِ البيضةُ، عدِّلِ التصميمَ وقمْ بالمحاولةِ مرَّةً أخرى.

5. طلبَ أحدُ مخترعي البندقيات من إحدى فرقِ الرمايةِ تفحُّصَ بندقيةً جديدةً في إحدى مبارياتِ الرمي على هدف. تبلغُ كتلةُ البندقيةِ الجديدةِ 0.75 kg، وهي تطلقُ رصاصةً كتلتُها 25.0 g بسرعةِ 615 m/s. طلبَ إليك مدرِّبُ الفريقِ أن تشرحَ تأثيرَ هذا البندقيةِ في دقَّةِ التسديد. حضِّرْ رسومًا لشرحِ إجابتِك، وكنْ مستعدًّا للدفاعِ عن رأيِك.



تقويمُ الفصل 5

اختيارٌ من متعدِّد

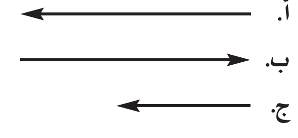
1. إذا كانت الطاقةُ الحركيَّةُ لجسيمٍ صفرًا، فكم يكونُ زخمُه الخطّيّ؟

أ. صفرًا　　　ج. 15 kg•m/s

ب. 1 kg•m/s　　　د. سالبًا

2. السهمُ أدناه يمثِّلُ زخمَ سيّارةٍ تسيرُ على طريق.

تصطدمُ السيّارةُ بسيّارةٍ أخرى متوقِّفةٍ على الطريقِ ويكونُ تصادمُهما لامرنًا. أيٌّ من الأسهمِ التاليةِ يمثِّلُ زخمَ السيّارةِ الأولى بعد التصادم؟



3. ما زخمُ كرةٍ كتلتُها 0.148 kg رُميَتْ نحو الهدفِ بسرعةٍ مقدارُها 35 m/s؟

أ. 5.1 kg•m/s باتِّجاهِ الهدف.

ب. 5.1 kg•m/s بعيدًا عن الهدف.

ج. 5.2 kg•m/s باتِّجاهِ الهدف.

د. 5.2 kg•m/s بعيدًا عن الهدف.

استعمل النصَّ أدناه للإجابة عن السؤالَيْن 4 و 5.

بعدَ تعرُّضِه لتصادمٍ مع كرةِ بولينغ، يتحرَّكُ وتدٌ كتلتُه 1.5 kg نحو اليمينِ بسرعةٍ مقدارُها 3.0 m/s ليصطدمَ رأسيًّا بوتدٍ آخر كتلتُه 1.5 kg في حالةِ سكون.

4. ما السرعةُ النهائيَّةُ للوتدِ الثاني إذا تابعَ الوتدُ الأوَّلُ سرعتَه نحو اليمينِ بمقدارِ 0.5 m/s؟

أ. 2.5 m/s نحوَ اليسار.

ب. 2.5 m/s نحوَ اليمين.

ج. 3.0 m/s نحوَ اليسار.

د. 3.0 m/s نحوَ اليمين.

5. ما السرعةُ النهائيَّةُ للوتدِ الثاني إذا أدَّتْ عمليَّةُ التصادمِ إلى توقُّفِ الوتدِ الأوَّل؟

أ. 2.5 m/s نحوَ اليسار.

ب. 2.5 m/s نحوَ اليمين.

ج. 3.0 m/s نحوَ اليسار.

د. 3.0 m/s نحوَ اليمين.

6. افترضْ حدوثَ تغيُّرٍ محدَّدٍ في زخمِ جسمٍ نتيجةً لتعرُّضه لقوَّةٍ معيَّنةٍ لفترةٍ زمنيَّة. إذا ازدادَتِ القوَّةُ المطبَّقةُ على الجسمِ، فماذا يحدثُ لفترةِ تطبيقِها؟

أ. تزداد.

ب. تنقص.

ج. تبقى كما هي.

د. لا يمكنُ إعطاءُ إجابةٍ من المعلوماتِ المتوافرة.

7. أيٌّ من المعادلاتِ أدناه يمثِّلُ قانونَ حفظِ الزخمِ الخطّيّ؟

أ. $p = mv$

ب. $m_1v_{1,i} + m_2v_{2,i} = m_1v_{1,f} + m_2v_{2,f}$

ج. $\frac{1}{2}m_1v_{1,i}^2 + m_2v_{2,i}^2 = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v_f^2$

د. $KE = p$

8. اصطدمَ قرصٌ برتقاليٌّ بآخرَ أصفرَ على طاولةٍ أفقيَّةٍ تصادمًا رأسيًّا مرنًا، وكان لهما الكتلةُ نفسُها. إذا كانت سرعةُ القرصِ البرتقاليِّ قبل التصادمِ 5.00 m/s نحو اليمينِ، وكان القرصُ الأصفرُ ساكنًا، فكم تكونُ سرعةُ القرصِ الأصفرِ بعدَ التصادم؟

أ. صفرًا.

ب. 5.00 m/s نحوَ اليسار.

ج. 2.50 m/s نحوَ اليمين.

د. 5.00 m/s نحوَ اليمين.

استعمل المعلوماتِ أدناه للإجابةِ عن السؤالَيْن 9 و 10.

تنزلقُ خرزةٌ كتلتُها 0.400 kg على سلكٍ أفقيٍّ غيرِ احتكاكيٍّ نحوَ اليمين بسرعةٍ مقدارُها 3.50 cm/s كما هو موضَّحٌ أدناه. تصطدمُ الخرزةُ بخرزةٍ أخرى أكبر، كتلتُها 0.600 kg في حالةِ سكونٍ ابتدائيٍّ. بعد التصادمِ، تنطلقُ الخرزةُ الصغرى نحو اليسار بسرعة 0.70 cm/s.



9. ما السرعةُ النهائيَّة للخرزةِ الكبرى؟

أ. 1.68 cm/s نحوَ اليمين.

ب. 1.87 cm/s نحوَ اليمين.

ج. 2.80 cm/s نحوَ اليمين.

د. 3.97 cm/s نحوَ اليمين.

10. ما الطاقةُ الحركيَّةُ الكلّيَّةُ للخرزتَيْن بعد عمليَّةِ التصادم؟

أ. 1.40×10^{-4} J

ب. 2.45×10^{-4} J

ج. 4.70×10^{-4} J

د. 4.90×10^{-4} J

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

11. هل يكونُ الزخمُ الكليُّ محفوظًا عندما يضغطُ جسمانِ أحدُهما على الآخر فيتباعدان؟

12. في أيِّ نوعٍ من التصادماتِ تكونُ الطاقةُ الحركيَّةُ محفوظةً؟ أعطِ مثالاً على هذا النوع.

استعمل المعلوماتِ التاليةَ للإجابةِ عن السؤالَيْن 13 و 14.

أُطلقَتْ رصاصةٌ كتلتُها 8.0 g نحو كرةِ بندول ساكنٍ كتلتُه 2.5 kg واستقرَّت بداخلِها. ترتفعُ كرةُ البندول إثرَ ذلك مسافةً شاقوليَّةً مقدارُها 6.0 cm.

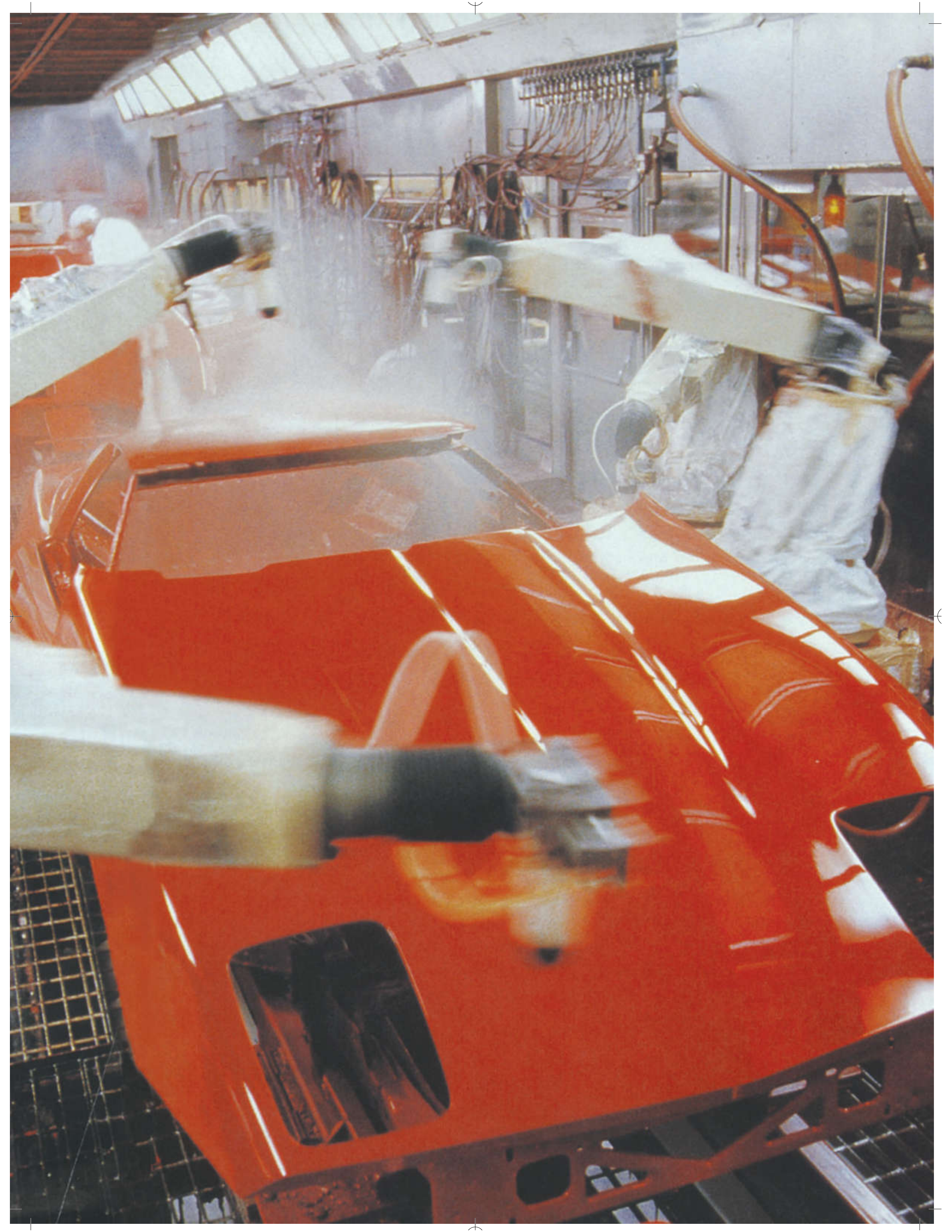
13. ما السرعةُ الابتدائيَّةُ للرصاصة؟

14. كم تكونُ الطاقةُ الحركيَّةُ للبندولِ عند عودتِه ثانيةً إلى مركزِ اتّزانِه؟

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلة

15. يدَّعي مهندسٌ في رحلةٍ فضائيَّةٍ الأمرَ الآتي: إذا أخذْنا تأثيراتِ الزخمِ بالاعتبارِ، فإنَّ السفينةَ الفضائيَّةَ ستحتاجُ إلى وقودٍ أقلَّ كثيرًا عند عودتِها إلى الأرضِ بالمقارنةِ مع رحلةِ الذهاب.

اكتبْ فقرةً تشرحُ فيها هذه الفرضيَّةَ وتدعمُها.



الفصل 6

القوى والمجالاتُ الكهربائيَّة

Electric Forces and Fields



يتمُّ في المصنعِ الظاهرِ في الصورةِ رشُّ سيّارةٍ بطبقةِ طلاءٍ جديدةٍ بوساطةِ مرشّاتِ الرذّ. باستعمالِ مرشّاتِ الرذِّ العاديةِ يُهدرُ الطلاءُ حين لا يصيبُ جسمَ السيّارة. لتخفيفِ كميَّةِ الطلاءِ المهدورةِ استُحدِثَ نوعٌ خاصٌّ من رذِّ الطلاءِ يُسمّى الرذَّ الإلكتروستاتيكيّ، لأنَّه يستعملُ القوَّةَ الكهربائيَّةَ. يتمُّ شحنُ الطلاءِ بشحنةٍ سالبةٍ وجسمِ السيّارةِ بشحنةٍ موجبةٍ، لذلك ينجذبُ الطلاءُ نحو السيّارة.

ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

ستتعلَّمُ في هذا الفصلِ الخصائصَ الأساسيَّةَ للشحناتِ الكهربائيَّة. تتعلَّمُ أيضًا حسابَ القوَّةِ الكهربائيَّةِ التي تؤثِّرُ بها شحنةٌ كهربائيَّةٌ في شحنةٍ أخرى، وكذلك تفسيرَ خطوطِ المجالِ الكهربائيّ.

ما أهميَّتُهُ

تقدِّرُ إحدى الدراساتِ أنَّ ما توفِّرُه طريقةُ الرذِّ الإلكتروستاتيكيّ في مصانعِ الولاياتِ المتَّحدةِ الأمريكيَّة يبلغُ حوالي 50 مليونَ دولارٍ سنويًّا. ستدرسُ في هذا الفصلِ كيفيَّةَ استعمالِ القوَّةِ الكهربائيَّةِ في عمليَّةِ الرذِّ الإلكتروستاتيكيَّة.

محتوى الفصل 6



الشحنةُ الكهربائية

Electric charge

1-6 أهدافُ القسم

- يذكرُ خصائصَ الشحنةِ الكهربائيةِ الأساسية.
- يفرِّقُ بين الموصِّلاتِ والعوازل.
- يميِّزُ بين الشَّحنِ بالملامسةِ والشحنِ بالحثِّ والشحنِ بالاستقطاب.

خصائصُ الشحنةِ الكهربائية

لعلَّكَ لاحظتَ بعد تمشيطِ شعرِك بمشطٍ بلاستيكيٍّ في يومٍ جافٍّ كيف يجذِبُ المشطُ خصلاتِ شعرِك، أو قطعًا صغيرةً من الورق. يمكنُكَ، بتجربةٍ بسيطةٍ أخرى، أن تدلكَ بشعرِكَ بالونًا منفوخًا جيئةً وذهابًا. ستجدُ البالونَ ينجذبُ إلى شعرِك، كما يظهرُ في **الشكل 1-6** (أ). وفي يومٍ جافٍّ يمكنُ لبالونٍ تمَّ دَلْكُهُ أن يظلَّ ملتصقًا بحائطِ الغرفةِ ساعاتٍ عدَّة. إن موادَّ كالتي يتكوَّنُ منها البالونُ يقالُ إنها قد أصبحَتْ مشحونةً *كهربائيًّا*. تؤدّي تجاربُ كهذه إلى نتائجَ أفضلَ إذا جرَتْ في يومٍ جافّ، لأن الرطوبةَ الزائدةَ توفِّرُ ممرًّا تنتقلُ منه الشحنةُ خارجَ الجسمِ المشحون.

ويَسَعُكَ تزويدُ جسمِكَ بشحنةٍ كهربائيةٍ بدلكِ حذائِكَ دلكًا شديدًا ببساطٍ أو سجّادةٍ من صوف، أو بانزلاقِكَ على مقعدِ سيارة. يمكنُكَ بعدَها إزالةُ الشحنةِ من جسمِك بأن تلمسَ شخصًا آخرَ مجرَّدَ لمسة. وباستطاعتِك، إذا توافرَتْ ظروفٌ مناسبة، أن ترى شرارةً عند هذا اللمس، وأن يشعرَ كلاكما برعشةٍ خفيفة.

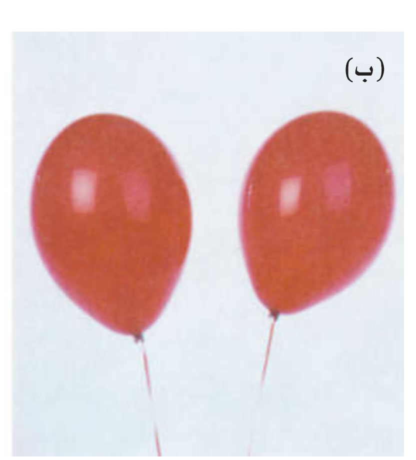
طريقةٌ أخرى تسمحُ لك بملاحظةِ خصائصِ الشحنةِ الكهروستاتيكية، هي أن تدلكَ بالونينِ بشعرِكَ ثم تضعهُما الواحدَ قربَ الآخر، كما يظهرُ في **الشكل 1-6** (ب). في هذهِ الحالةِ تجدُ البالونَيْنِ يتنافران. ما الذي يجعلُ البالونَ الذي جرى دلْكُهُ ينجذبُ إلى شعرِك، لكنْ ينفرُ من بالونٍ آخرَ دُلِكَ بشعرِك؟

الشحناتُ الكهربائيةُ نوعان

اكتسَبَ البالونانِ النوعَ نفسَهُ من الشحنات، لأنهما شُحِنا بالطريقةِ نفسِها. نستنتجُ من تنافرِهما أن *الشحناتِ المتشابهةَ تتنافر*. أما البالونُ الذي جرى دلْكُهُ وشعرُكَ فليسَ لهما النوعُ نفسُهُ من الشحنات، لذلك يتجاذبان. نستنتجُ أيضًا أن *الشحناتِ غيرَ المتشابهةِ تتجاذب*.

الجدول 1-6	مصطلحاتٌ تمثيلِ الشحناتِ ومتَّجهِ المجالِ الكهربائيِّ
−	الشحنةُ الموجبةُ
+	الشحنةُ السالبةُ
	متَّجهُ المجالِ الكهربائيِّ
	خطوطُ المجالِ الكهربائي





الشكل 1-6
(أ) إذا دلكْتَ بالونًا بشعرِكَ في يومٍ جافٍّ يكتسبُ البالونُ وشعرُكَ شحناتٍ تجعلُهما يتجاذبان.
(ب) من جهةٍ أخرى، يتنافرُ بالونانِ تم شَحْنُهما بدلْكِهما بشعرِك.

سمَّى بنجامين فرنكلين (1706 – 1790) نوعَيِ الشحناتِ المختلفةِ موجبةً *وسالبة*. من المتعارفِ عليه أن البالونَ عند دلكِهِ بالشعرِ يكتسبُ شحنةً *سالبة*، بينما يكتسبُ الشعرُ شحنةً موجبة، كما يظهرُ في **الشكل 6-2**. تختلفُ الشحنةُ الموجبةُ عن الشحنةِ السالبةِ لأن جسمًا يحملُ شحنتَيْنِ متساويتَيْن، موجبةً وسالبة، لا يحملُ شحنةً محصّلة.

يُستعملُ الرّذُّ الإلكتروستاتيكي للطلاءِ مبدأَ التجاذبِ بين الشحناتِ غيرِ المتشابهة. فتكسِبُ قطيراتُ الطلاءِ شحنةً سالبة، والجسمُ المطلوبُ طلاؤُهُ يكسِبُ شحنةً موجبة. في الرّذِّ العاديِّ للطلاءِ تنزلِقُ قطيراتُ الطلاءِ فوق الجسم، بينما تلتصِقُ قطيراتُ الطلاءِ السالبةُ في الرّذِّ الإلكتروستاتيكي بالجسمِ المستهدَفِ الموجب، وهذا ما يوفِّرُ كمّيةً من الطلاءِ المستعملِ في عمليةِ الرذّ.

الشحنةُ الكهربائيةُ محفوظة

ماذا يحدُثُ عندما تدلكُ البالونَ بشعرِك، ليصبحَ البالونُ وشعرُكَ مشحونَيْنِ كهربائيًّا؟ للإجابة عن السؤالِ تحتاجُ أن تعرفَ القليلَ عن الذرّاتِ التي تكوِّنُ المادةَ المحيطةَ بك. تحتوي كلُّ ذرةٍ على جُسيماتٍ صغيرةٍ جدًّا. الجُسيماتُ الموجبةُ التي تسمّى *بروتوناتٍ* والجُسيماتُ المتعادلةُ التي تُسمّى *نيوترونات* تقعُ في مركزِ الذرةِ الذي يسمَّى النواة. أما الجُسيماتُ السالبةُ التي تُسمّى *إلكتروناتٍ* فتقعُ خارجَ النواة وتتحرَّكُ حولَها.

تُعتبَرُ البروتوناتُ والنيوتروناتُ ثابتةً نسبيًّا في نواةِ الذرَّة، لكنَّ الإلكتروناتِ يسهلُ انتقالُها من ذرَّةٍ إلى أخرى. عندما تتوازنُ الإلكتروناتُ بعددٍ مساوٍ من البروتوناتِ تصيرُ الذرَّةُ متعادلةً كهربائيًّا في حال انتقالِ إلكترونٍ من ذرَّةٍ متعادلةٍ إلى أخرى، تكسِبُ إحدى الذرَّتَيْنِ شحنةً سالبةً وتفقدُ الأخرى شحنةً سالبةً فتصيرُ موجبة. تسمَّى الذرّاتُ التي تصيرُ موجبةَ الشحنةِ أو سالبةَ الشحنةِ *أيونات*.

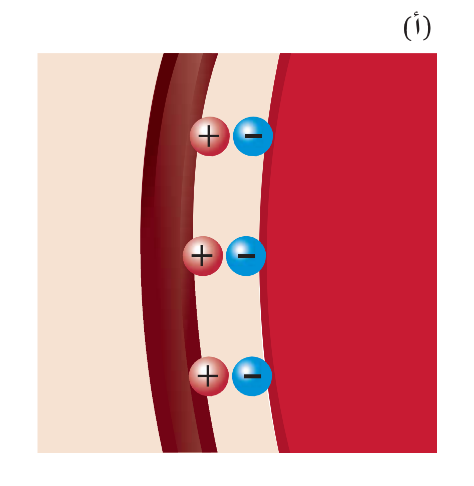
البالونُ وشعرُكَ كلاهما يحتوي على عددٍ كبيرٍ جدًّا من الذرّاتِ المتعادلة. وبما أن للشحنةِ ميلاً طبيعيًّا إلى الانتقالِ بين الموادِّ غيرِ المتشابهة، فإن دلْكَ المادَّتَيْنِ الواحدةَ بالثانيةِ يزيدُ من مساحةِ التلامسِ بينهما، ويعزِّزُ بالتالي عمليةَ انتقالِ الشحنة. عند دلْكِ شعرِكَ بالبالون، تنتقلُ بعضُ إلكتروناتِ شعرِكَ إلى البالون، ما يعني أن البالونَ قد كسِبَ كمِّيةً معيَّنةً من الشحناتِ السالبة، بينما فقدَ شعرُكَ كمِّيةً تساويها من الشحناتِ السالبةِ فصارَ ذا شحنةٍ موجبة. في تجاربَ كهذه، ينتقلُ من جسمٍ إلى آخرَ جزءٌ صغيرٌ من الشحنةِ الكليةِ المتوفرة.

الشحنةُ الموجبةُ في شعرِكَ تساوي في المقدارِ الشحنةَ السالبةَ في البالون. الشحنةُ الكهربائيةُ محفوظةٌ في هذه العملية، فالشحنةُ لا تُستحدَثُ ولا تفنى. يُعتبَرُ هذا المبدأُ في حفظِ الشحنةِ أحدَ القوانينِ الأساسيةِ في الطبيعة.

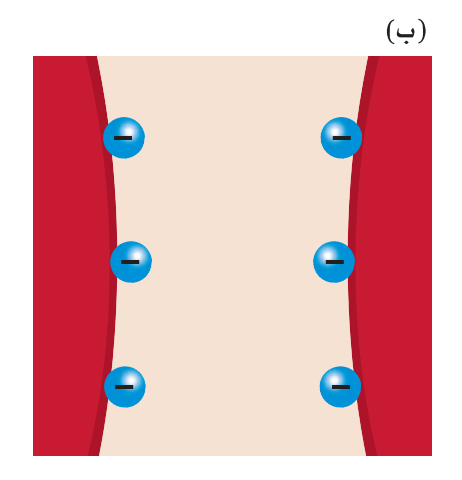
الشحنةُ الكهربائيةُ مكمَّاة (مضاعفاتٌ لكمٍّ ثابت)

في سنةِ 1909 أجرى روبرت ملكان (1886-1953) تجربةً في جامعةِ شيكاغو لاحظَ خلالَها حركةَ قُطيراتٍ من الزيتِ صغيرةً بين صفيحتَيْنِ معدنيتَيْنِ متوازيتَيْن، كما يظهرُ في **الشكل 6-3**. تمَّ شحنُ القطيراتِ بوساطةِ الاحتكاكِ داخلَ بخاخٍ لتمرَّ بعدها داخلَ ثقبٍ في الصفيحةِ العليا. في البداية سقطَتِ القُطيراتُ بتأثيرٍ من وزنِها. فأُعطِيَتِ الصفيحةُ العليا شحنةً موجبةً عند سقوطِ القُطيرات، فانجذبَتِ القُطيراتُ السالبةُ إلى

(أ)



(ب)

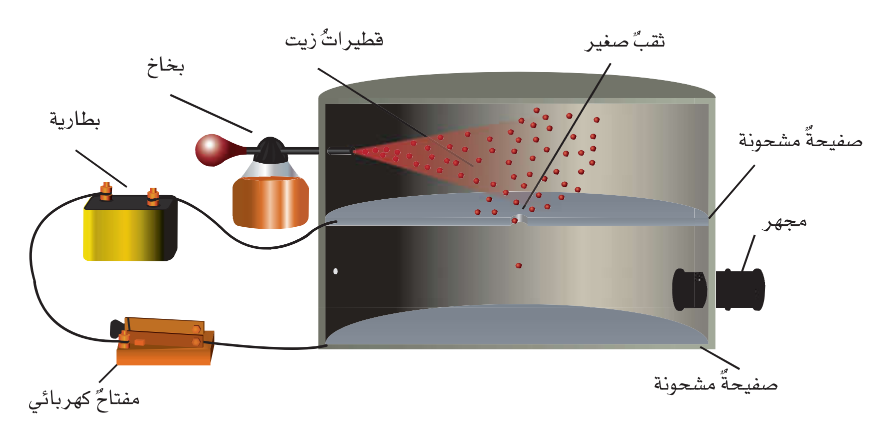


الشكل 6-2

(أ) ينجذبُ البالونُ ذو الشحنةِ السالبةِ إلى الشعرِ الموجبِ الشحنةِ لأن شحنتَيْهما مختلفتان. (ب) يتنافرُ بالونان سالبانِ لأنهما يحملانِ الشحنةَ نفسها.

هل تعلم؟

بعضُ منتجاتِ التجميلِ تحتوي على مركَّبٍ عضويٍّ يسمّى الكيتين، نجدُهُ في السلطعونِ والكركندِ والفراشةِ وغيرِها من الحشرات. يحملُ الكيتينُ شحنةً موجبة، ممّا يساعدُ منتجاتِ التجميلِ على الالتصاقِ بشعرِ الإنسانِ وجلدِه. وهما عادةً يحملانِ شحنةً سالبةً ضعيفة.



الشكل 3-6
هذه صورةٌ توضيحيةٌ للجهازِ الذي استعملَهُ ملكان في تجربتِهِ على قُطَيْرةِ الزيت، حيث توصَّلَ إلى وحدةٍ أساسيةٍ للشحنة.

أعلى في اتجاهِ الصفيحةِ الموجبة. سمحتْ عمليةُ شحنِ الصفيحةِ أو إيقافُ شحنِها لملكان بمشاهدةِ قُطيرةِ زيتٍ واحدةٍ لساعاتٍ عدَّةٍ أثناءَ صعودِها أو هبوطِها.

بعد تكرارِ العمليةِ على آلافِ القطراتِ وجدَ ملكان أن كمِّيةَ الشحنةِ التي يحملُها الجسمُ المشحونُ تكونُ دائمًا أضعافًا لوحدةٍ أساسيةٍ من الشحنةِ يرمزُ إليها بالحرفِ (e). وبلغةٍ أخرى يقالُ إن الشحنةَ *مكمَّاة*، ما يعني أنها تتواجدُ ككمّياتٍ متفرِّدةٍ في الطبيعة. إذن قد يكونُ للجسمِ شحنةٌ تساوي $\pm e$ أو $\pm 2e$ أو $\pm 3e$ وهلمَّ جرًّا.

برهنتْ تجاربُ أخرى في تلك الفترةِ أن للإلكترون شحنةً $-e$ وللبروتون شحنةً مساويةً لشحنةِ الإلكترون ومعاكسةً هي $+e$. أما قيمةُ e فقد تحدَّدَتْ منذُ ذلك الوقتِ، وهي تساوي 1.60219×10^{-19} C، حيث الكولومبُ (C) هو وحدةُ الشحنةِ الكهربائيةِ في النظامِ الدوليِّ للوحدات SI. ولحلِّ مسائلَ واردةٍ في هذا الكتابِ تُستعمَلُ القيمُ المدرجةُ في **الجدول 2-6** أدناه. تحتوي الشحنةُ الكلّيةُ -1 C على 6.2×10^{18} من الإلكترون أي ($1/e$). عند مقارنةِ هذا العددِ بعددِ الإلكتروناتِ الحرَّةِ الموجودةِ في $1\ cm^2$ من النحاس، والتي هي في رتبةِ 10^{23}، نجدُ أن 1.0 C كمّيةٌ لا بأسَ بها من الشحنات.

شحنة الجسم = عدد الإلكترونات التي يكتسبها أو يفقدها الجسم × شحنة الإلكترون

هل تعلم؟

1. في التجاربِ الإلكتروستاتيكيةِ النموذجية، حيث يُشحَنُ جسمٌ معيَّنٌ كهربائيًّا بالاحتكاك، قد نحصلُ على شحنةٍ برتبةِ 10^{-6}C (تساوي 1μC) تشكِّلُ جزءًا صغيرًا جدًّا من الشحنةِ الكلّيةِ في الجسم.
2. استُنتِجَ من بعضِ التجاربِ وجودُ جسيماتٍ أساسيةٍ تسمّى كوارك، وهي ذاتِ شحناتٍ تساوي $\pm\frac{1}{3}e$ أو $\pm\frac{2}{3}e$.

انتقالُ الشحنةِ الكهربائية

عندَما تمَّ شحنُ البالونِ وشعرَكَ بدلكِ الواحدِ بالآخرِ، وحدَها المساحاتُ المدلوكةُ هي التي شُحِنَتْ، وليس هناك ميلٌ لدى الشحنةِ للتحرُّكِ إلى مناطقَ أخرى من المادّة. لكن، في المقابل، عندَما تُشحَنُ موادُّ كالنحاسِ والألمينيومِ والفضَّةِ في منطقةٍ صغيرةٍ معيَّنةٍ منها، تتوزَّعُ الشحنةُ نفسُها تلقائيًّا في سطحِ المادَّةِ بأكملِه.

الجدول 2-6 شحنةُ الجُسيماتِ الذرِّيةِ وكتلتُها

الجُسيم	الشحنة (C)	الكتلة (kg)
الإلكترون	-1.6×10^{-19}	9.109×10^{-31}
البروتون	$+1.6 \times 10^{-19}$	1.673×10^{-27}
النيوترون	0	1.675×10^{-27}

ولهذا السببِ يفضَّلُ تصنيفُ الموادِّ بدلالةِ قدرتِها على نقلِ الشحنةِ الكهربائية. فالموادُّ التي تتحرَّكُ فيها الشحناتُ الكهربائيةُ بسهولةٍ كالنحاسِ والألمنيوم، تُسمَّى **موصِّلات** conductors. معظمُ المعادنِ موصِّلات. والموادُّ التي لا تتحرَّكُ فيها الشحناتُ الكهربائيةُ بسهولةٍ كالزجاجِ والمطّاطِ والحريرِ والبلاستيك، تُسمَّى **عوازل** insulators.

تشكِّلُ *أشباهُ الموصِّلاتِ* النوعَ الثالثَ من الموادِّ التي تتّصفُ بخصائصَ كهربائيةٍ تقعُ في مكانٍ ما بين الموصِّلاتِ والعوازل. تُعتبَرُ أشباهُ الموصِّلاتِ في حالتِها النقيَّةِ عوازل. لكنَّ الإضافةَ الصحيحةَ المتأنّيةَ لذرّاتٍ محدَّدةٍ من الشوائبِ إلى شبهِ الموصِّلِ يمكنُها أن تزيدَ جذريًّا من قابليتِهِ لتوصيلِ الشحنةِ الكهربائية. يُعتبَرُ السيليكون والجيرمانيوم من أشباهِ الموصِّلاتِ المعروفةِ والمستعملةِ في الأجهزةِ الإلكترونية.

هناك معادنُ أخرى تشكِّلُ نوعًا رابعًا من الموادّ، وتسمَّى موصِّلاتٍ *فائقةَ التوصيل* وهي تصبحُ موصِّلاتٍ مثاليةً عندما تكونُ على درجةِ حرارةٍ معيَّنةٍ أو دونَها.

الموصِّل

المادَّةُ التي تنقلُ الشحنةَ بسهولة.

العازل

المادَّةُ التي لا تنقلُ الشحنةَ بسهولة.

شحنُ الموصِّلاتِ والعوازلِ بالتماسّ

في التجاربِ المشروحةِ سابقًا، شُحِنَ البالونُ والشعرُ بعد دلكِ الواحدِ بالآخر. وتُسمّى هذه العمليةُ *الشحنَ بالتّماسّ*. مثالٌ آخرُ على هذا النوعِ من الشحنِ الكهربائيِّ هو في دلكِ قضيبٍ زجاجيٍّ بقطعةٍ من حرير، ودلكِ قضيبٍ مطاطيٍّ بقطعةٍ من صوفٍ أو فَرْو. يكتسبُ القضيبانِ شحنتَيْنِ مختلفتَيْنِ فيتجاذبان، كما يحدثُ بين البالونِ وشعرِك.

وعندَ شحنِ قضيبَيْنِ زجاجيَّيْن، يكتسبُ كلٌّ منهما الشحنةَ نفسَها فيتنافران، كما يحدثُ بين بالونَيْنِ مشحونَيْن، كذلك يتنافرُ قضيبانِ مطّاطيانِ مشحونان. إن جميعَ الموادِّ المستعملةِ في هذه التجارب - الزجاج، المطّاط، الحرير، الصوف، الفراء - هي عوازل. هل يمكنُ شحنُ الموصِّلاتِ بالتّماسِّ أيضًا؟

إذا أجرَيْتَ تجربةً شبيهةً بالتجربةِ السابقة، مستعملاً قضيبًا نحاسيًّا، فإن القضيبَ لا يجذِبُ ولا ينفرُ من قضيبٍ آخر، ما يعني أن المعدِنَ لا يمكنُ شحنُهُ بالتماسّ. لكن إذا أمسكْتَ القضيبَ النحاسيَّ بمادَّةٍ عازلةٍ ثم دلكْتَهُ بالصوفِ أو الفَرْو، فإنَّه يجذبُ قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا ويتنافرُ مع قضيبٍ مطاطيٍّ مشحون.

في الحالةِ الأولى تتحرَّكُ الشحناتُ الكهربائيةُ الناتجةُ عن الدلكِ بسهولةٍ من النحاسِ إلى داخلِ جسمِك ثم إلى الأرض، لأن النحاسَ موصِّل. فالنحاسُ إذن لم يُشحنْ لكنه يصبحُ متعادلاً. في الحالةِ الثانيةِ يمنعُ المقبضُ العازلُ انسيابَ الشحنةِ إلى الأرض فيبقى النحاسُ مشحونًا. نستنتجُ أن العوازلَ والموصِّلاتِ كلتَيْهما يمكنُ شحنُهما بالتماسّ.

شحنُ الموصِّلات بالحثّ (بالتأثير)

عندَ وصلِ الموصِّلِ بالأرض بوساطةِ سلكٍ موصِّلٍ أو أنبوبِ نحاس، نقولُ إن الموصِّلَ قد *تأرَّض*. تُعتبَرُ الأرضُ خزّانًا لامتناهيَ السعةِ للإلكترونات، لأنها تقدرُ أن تستقبلَ أو تزوِّدَ بعددٍ غيرِ محدودٍ من الإلكترونات. يساعدُنا هذا على فهمِ طريقةٍ أخرى لشحنِ الموصِّل.

الفيزياءُ والحياة

1. الغطاء البلاستيكيّ يُشحنُ الغلافُ البلاستيكيُّ كهربائيًّا حين يُسحَبُ من حاويتِه، فينتجُ عن شحنِهِ جذبٌ لأجسامٍ مثلِ أوعيةِ الطعام. اشرحْ أهميةَ مادَّةِ البلاستيك لمثلِ هذا الغرض.

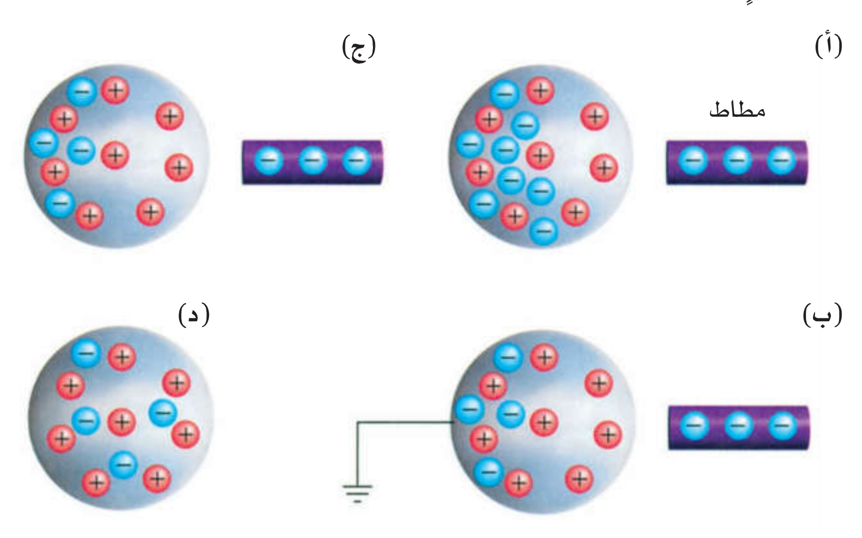
2. انتقالُ الشحنة إذا دُلكَ قضيبٌ زجاجيٌّ بالحريرِ يكتسبُ الزجاجُ شحنةً موجبةً ويكتسبُ الحريرُ شحنةً سالبة. قارنْ بين كتلةِ القضيبِ قبلِ الشحنِ وبعدَه.

3. الإلكترونات بعضُ الأجسامِ التي على الأرضِ ليسَ لها شحنةٌ محصلَة، علمًا أنها تحتوي على كمّيةٍ هائلةٍ من الإلكترونات. كيف يكونُ ذلك ممكنًا؟

لنفرضْ أن قضيبًا مطّاطيًّا ذا شحنةٍ سالبةٍ قد وُضِعَ قربَ كرةٍ موصِّلةٍ متعادلةٍ (غير مشحونة) تمَّ عزلُها بحيثُ لا تتَّصلُ بالأرض بأيِّ مسار. تسبِّبُ القوةُ المنفِّرةُ بين الإلكتروناتِ في القضيبِ وبين الإلكتروناتِ الموجودةِ في الكرةِ إعادةَ توزيعٍ للشحنةِ السالبةِ على الكرة، كما يظهرُ في **الشكل 6-4** (أ). نتيجةً لذلك تتكثَّفُ الشحنةُ الموجبةُ في جزءِ الكرةِ الأقربِ إلى القضيبِ السالب.

إذا وصلْنا، الآنَ، الكرةَ بسلكٍ مؤرَّض، كما يظهرُ في **الشكل 6-4** (ب)، تتركُ بعضُ الإلكتروناتِ الكرةَ وتنتقلُ إلى الأرض. وإذا نزعْنا السلكَ وأبقيْنا القضيبَ السالبَ في مكانِه، كما يظهرُ في **الشكل 6-4** (ج)، نحصلُ على كرةٍ موصِّلةٍ وقد اكتسبَتْ شحنةً موجبةً من خلال الحثّ. أخيرًا وبعد إزالةِ القضيبِ المطّاطيِّ من جوارِ الكرة، كما في **الشكل 6-4** (د)، تبقى الشحنةُ الموجبةُ المستحثَّةُ على الكرةِ غيرِ المؤرَّضة. تسبِّبُ حركةُ الشحناتِ السالبةِ على الكرةِ توزيعًا متساويًا للشحنةِ الموجبةِ على السطحِ الخارجيِّ للكرةِ غيرِ المؤرَّضة. تسمّى هذه الطريقةُ **الحثَّ** induction، ويقالُ إن الشحنةَ قد *استُحِثَّتْ* على الكرة.

لاحظْ أن شحنَ جسمٍ بوساطةِ الحثِّ لا يتطلَّبُ تماسًّا مع الجسمِ الحاثِّ للشحنة، لكنَّه يتطلَّبُ تماسًّا مع جسمٍ ثالثٍ يكوِّنُ مصدرًا أو مخزنًا للإلكترونات. في عمليةِ حثِّ شحنةٍ على الكرة، لم يلامسِ القضيبُ المطاطيُّ الكرة، وهو لم يخسرْ بالتالي أيًّا من شحناتِهِ السالبة. هذا يختلفُ عن شحنِ جسمٍ بالتماسِّ حيثُ تنتقلُ الشحناتُ مباشرةً من جسمٍ إلى آخر.



الشكل 6-4

(أ) عند اقترابِ قضيبٍ مطاطيٍّ جرى حثُّه من كرةٍ معدنية، تتوزَّعُ الشحناتُ على الكرة. (ب) إذا تأرَّضتِ الكرةُ تنتقلُ بعضُ الإلكتروناتِ عبر السلكِ إلى الأرض. (ج) عند إزالةِ هذا السلك، تكتسبُ الكرةُ المزيدَ من الشحنةِ الموجبة (د) تتوزَّعُ الشحنةُ الموجبةُ بالتساوي على سطحِ الكرةِ عند إزالةِ القضيب.

الشحنُ السطحيُّ على العوازلِ يمكنُ أن يُستحَثَّ بوساطةِ الاستقطاب

هذه طريقةٌ شبيهةٌ جدًّا بشحنِ الموصِّلاتِ بالحثِّ تَحدثُ في العوازل. يتطابقُ مركزُ الشحنةِ الموجبةِ في معظمِ الذرّاتِ أو الجُزيئاتِ المتعادلةِ مع مركزِ الشحنةِ السالبة. في حالِ وجودِ جسمٍ مشحونٍ تتباعدُ هاتان النقطتان قليلاً جدًّا. يُحدِثُ ذلك شحنًا موجبًا على أحدِ جانبَيِ الجزيءِ أكثرَ ممّا يحدثُ على الجانبِ الآخر، ويسبِّبُ ما يُسمّى *استقطابًا*.

نشاط عملي سريع

الاستقطاب

المواد

- ✓ بالون
- ✓ صنبورُ ماء

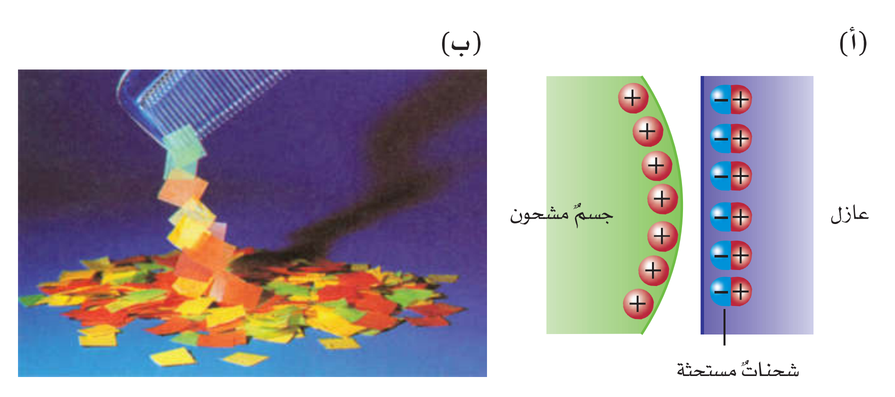
افتحْ صنبورَ الماءِ واضبطْ انسيابَ الماءِ حتى تحصلَ على خطٍّ دقيقٍ ثابتٍ وبطيءٍ قدرَ الإمكان وليس متقطعًا. انفخِ البالونَ واربطْ فوَّهتَهُ ثم ادلكْهُ بشعرِك. اجعلِ الجانبَ المشحونَ من البالونِ قربَ خيطِ الماءِ دون أن تدعَهُ يتبلَّل. ماذا يحدثُ لخيطِ الماء؟ ما الذي سبَّبَ ذلك؟

الحث

عمليةُ شحنِ الموصِّلِ بوضعِهِ قربَ جسمٍ آخرَ مشحون، ثم وصلِهِ بالأرض.

ملاحظة: استقطابُ الشحناتِ يختلفُ عن استقطابِ الضوء.

إن إعادةَ اصطفافِ الشحناتِ داخلَ الجزيئاتِ المنفردةِ يُحدِثُ شحنةً مستحثَّةً على سطحِ العازلِ، كما يظهرُ في **الشكل 5-6** (أ). مع أنه ليسَ للجسمِ المستقطِبِ شحنةٌ محصَّلة، يبقى في إمكانِهِ جذبُ أو تنفيرُ الأجسامِ نتيجةً لهذا الاصطفافِ للشحنات. تفسِّرُ هذه الظاهرةُ جذبَ المشطِ البلاستيكيِّ عن بعدٍ لوريقاتٍ صغيرةٍ غيرِ مشحونة، كما يظهرُ في **الشكل 5-6** (ب). فالاستقطابُ، كالحثِّ، يسمحُ لجسمٍ أن يحثَّ شحنةً على سطحِ جسمٍ آخرَ دونَ وجودِ تماسٍّ بينهما.



الشكل 5-6
(أ) الجسمُ المشحونُ في هذه الصورةِ يحثُّ الشحناتِ على سطحِ عازلٍ فيصبحُ سطحُ العازلِ مستقطَبًا. (ب) هذا المشطُ المشحونُ يحثُّ شحنةً على سطحِ الوريقاتِ التي لا شحنةَ محصَّلةَ لها.

مراجعةُ القسم 1-6

1. عند دلكِ قضيبٍ مطاطيٍّ بالصوفِ يكتسبُ القضيبُ شحنةً سالبة. ماذا تستنتجُ حول مقدارِ شحنةِ الصوفِ بعد عمليةِ الدلكِ؟ لماذا؟

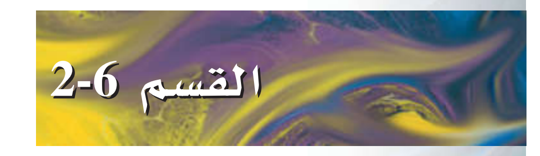
2. ما الجديدُ الذي كشفَتْهُ تجربةُ ملكان حولَ طبيعةِ شحنةِ الإلكترون؟

3. جسمٌ يحملُ شحنةً سالبةً تبلغُ حواليَ 10.0C. ما عددُ الإلكتروناتِ الزائدةِ عليه؟

4. إذا ألصقْتَ قطعةً من شريطٍ لاصقٍ شفافٍ على طاولتِك ثم نزعتَها بسرعة، تجدُ أن الشريطَ ينجذبُ إلى مناطقَ أخرى من الطاولةِ غيرِ مشحونة. لِمَ يحدثُ هذا؟

5. **تفكيرٌ ناقد** يمكنُ شحنُ معادنَ، كالنحاسِ والفضَّة، بوساطةِ الحثّ، لكن لا يمكنُ ذلك مع الموادِّ البلاستيكية. اشرحِ السبب.

6. **تفكيرٌ ناقد** لماذا يكونُ مرشُّ الرّذِّ الإلكتروستاتيكيِّ أكثرَ فاعليةً من مرشِّ الرّذِّ العادي؟



القوَّةُ الكهربائية

Electric Force

2-6 أهدافُ القسم

- يحسبُ القوَّةَ الكهربائيةَ مستعملاً قانونَ كولومب.
- يقارنُ بين القوَّةِ الكهربائيةِ والقوَّةِ الجذبية.
- يُطبِّقُ مبدأَ التراكبِ ليجدَ القوَّةَ المحصِّلةَ المؤثِّرةَ في شحنةٍ والموقعَ الذي تكونُ فيه المحصِّلةُ صفرًا.

قانونُ كولومب

عرَّفْنا القوَّةَ من قبلُ بأنها مسبِّبٌ للتغيُّرِ في الحركة. بما أن وجودَ جسمَيْنِ مشحونَيْنِ متجاورَيْنِ قد يسبِّبُ حركةً تُقرِّبُ الواحدَ من الآخرِ أو تُبعِدُهُ عنه، نستنتجُ أن كلَّ جسمٍ منهما يطبِّقُ قوَّةً على الجسمِ الآخر. تُسمَّى هذه القوَّةُ *القوَّةَ الكهربائية*. تبرهنُ تجاربُ البالونَيْنِ في القسم **1-6** أن القوَّةَ الكهربائيةَ قوَّةُ جذبٍ بين شحنتَيْنِ مختلفتَيْن، وقوَّةَ تنافرٍ بين شحنتَيْنِ متماثلتَيْن. ما الذي يحدِّدُ مقدارَ القوَّةِ الكهربائية، أصغيرةٌ هي أم كبيرة؟

كلّما اقتربَتِ المسافةُ بين الشحنتَيْنِ ازدادَت القوَّةُ بينهما

تلاحظُ لدى دلْكِ بالونٍ بشعرِكَ أن قوَّةَ الجذبِ تزدادُ كلَّما اقتربَ البالونُ من شعرِك. وبطريقةٍ مماثلةٍ تزدادُ قوَّةُ التنافرِ بين بالونَيْنِ مشحونَيْنِ بشحنتَيْنِ متماثلتَيْنِ كلَّما نقصَتِ المسافةُ بينهما. إذن للمسافةِ بين جسمَيْنِ تأثيرٌ على مقدارِ القوَّةِ الكهربائيةِ بينهما. فضلاً عن ذلك، يبدو منطقيًّا أن كمّيةَ الشحنةِ على الأجسامِ تؤثِّرُ أيضًا في مقدارِ القوَّةِ الكهربائيةِ التي بينهما. ما هي إذن بالضبطِ العلاقةُ التي تربطُ المسافةَ والشحنةَ بالقوةِ الكهربائية؟

بين عامَيْ 1780 و 1790 أجرى تشارلز كولومب تجاربَ كثيرةً في محاولةٍ لتحديدِ مقدارِ القوَّةِ الكهربائيةِ ما بينَ جسمَيْنِ مشحونَيْن. توصَّلَ كولومبُ إلى أن القوَّةَ الكهربائيةَ بين شحنتَيْنِ تتناسبُ طرديًّا مع حاصلِ ضربِ الشحنتَيْن. إذا تضاعفَتِ الشحنتانِ تزدادُ القوَّةُ أربعةَ أمثالِ قيمتِها. وجدَ كولومب أيضًا أن القوَّةَ الكهربائيةَ تتناسبُ عكسيًّا مع مربَّعِ المسافةِ بين الشحنتَيْن. أي عندما تقِلُّ المسافةُ بمقدارِ النصفِ تزدادُ القوَّةُ أربعةَ أمثالِ قيمتِها. تعبِّرُ المعادلةُ التاليةُ، التي تُعرَفُ بقانونِ كولومب، عن الاستنتاجاتِ الرياضيةِ حولَ شحنتَيْنِ بينهما مسافةُ r.

قانونُ كولومب

$$F = k_C\left(\frac{q_1 q_2}{r^2}\right)$$

القوَّةُ الكهربائية = ثابت كولومب × $\frac{\text{(الشحنة 1) (الشحنة 2)}}{\text{(المسافة)}^2}$

تذكَّرْ، عند استعمالِكَ قانونَ كولومب، أن القوَّةَ كمِّيةٌ اتِّجاهيَّة، ويجبُ التعاطي معها وفقًا لذلك. تؤثِّرُ القوَّةُ الكهربائيةُ بين جسمَيْنِ دائمًا على امتدادِ الخطِّ الفاصلِ بينهما. لاحظْ أن قانونَ كولومب يطبَّقُ حصرًا على شحناتٍ نقطيةٍ أو جُسيماتٍ أو توزيعاتٍ كرويةٍ للشحنات. عند تطبيقِ قانونِ كولومب على توزيعاتٍ كرويةٍ للشحنة، تكونُ r هي المسافةَ بين مركزَيِ الجسمَيْنِ الكرويَّيْن.

هل تعلم؟

يُعبَّرُ عن وحدةِ ثابتِ كولومب، k_C، في النظامِ الدوليِّ SI للوحداتِ بـ $N{\bullet}m^2/C^2$، لأنها في المعادلةِ تعطي القوَّةِ الكهربائيةَ الوحدةَ N. تعتمدُ قيمةُ k_C على اختيارِ الوحداتِ في المعادلة. وقد حدَّدَتِ التجاربُ قيمةَ k_C، في النظامِ الدولي SI، بـ: $8.99 \times 10^9\ N{\bullet}m^2/C^2$.

مثال 6 (أ)

قانونُ كولومب

المسألة

متوسِّطُ المسافةِ الفاصلةِ بين الإلكترون والبروتون في ذرَّةِ الهيدروجين هو حواليْ 5.3×10^{-11} m. جدْ مقدارَيِ القوَّتَيْنِ الكهربائيةِ والجذبيةِ اللتيْنِ يبذلُها كلُّ جسيمٍ على الآخر.

الحلّ

1. أعرِّف

المعطى:

$r = 5.3 \times 10^{-11}$ m $\qquad k_C = 8.99 \times 10^9$ N•m²/C²

$m_{\text{إلكترون}} = 9.109 \times 10^{-31}$ kg $\qquad m_{\text{بروتون}} = 1.673 \times 10^{-27}$ kg

$q_{\text{إلكترون}} = -1.60 \times 10^{-19}$C $\qquad q_{\text{بروتون}} = +1.60 \times 10^{-19}$ C

$G = 6.67 \times 10^{-11}$ N•m²/kg²

المجهول:

$F_{\text{الكهربائية}} = ?$ $\qquad F_{\text{الجذبية}} = ?$

2. أخطِّط

أختارُ معادلةً (أو معادلاتٍ) أو موقفًا: أستعملُ قانونُ كولومب لأجدَ مقدارَ القوَّةِ الكهربائيةِ وقانونَ نيوتن للجاذبية كي أجدَ مقدارَ القوَّةِ الجذبية.

$$F_{\text{الكهربائية}} = k_C \frac{q_1 q_2}{r^2} \qquad F_{\text{الجذبية}} = G\frac{m_{\text{إلكترون}} m_{\text{بروتون}}}{r^2}$$

3. أحسب

أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحلّ: بما أنني أحسبُ مقدارَ القوَّةِ الكهربائيةِ وحدَه، سأتجاهلُ في حساباتي إشارةَ كلِّ شحنة.

$$F_{\text{كهربائية}} = k_C \frac{q_{\text{إلكترون}} q_{\text{بروتون}}}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N•m}^2/\text{C}^2)\left(\frac{(1.60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}\right)$$

$$F_{\text{كهربائية}} = \boxed{8.2 \times 10^{-8} \text{ N}}$$

$$F_{\text{الجذبية}} = G\frac{m_{\text{إلكترون}} m_{\text{بروتون}}}{r^2}$$

$$F_{\text{الجذبية}} = \left(6.67 \times 10^{-11} \frac{\text{N•m}^2}{\text{kg}^2}\right)\left(\frac{(9.109 \times 10^{-31} \text{ kg})(1.673 \times 10^{-27} \text{ kg})}{(5.3 \times 10^{-11} \text{ m})^2}\right)$$

$$F_{\text{الجذبية}} = \boxed{3.6 \times 10^{-47} \text{ N}}$$

4. أقيِّم

للبروتون والإلكترون إشارتان متعاكستان، لذلك تكونُ القوَّةُ الكهربائيةُ بينهما قوَّةَ جذب. وبما أن المعدَّلَ $F_{\text{كهربائية}} / F_{\text{الجذبية}} \approx 2 \times 10^{39}$ تكونُ قوَّةُ الجاذبيةِ بين الجسيمَيْنِ مهملةً قياسًا على القوَّةِ الكهربائيةِ بينهما.

تطبيق 6 (أ)

قانونُ كولومب

1. اكتسبَ بالونٌ بعد دلكِهِ بقطعةِ قماشٍ قطنيةٍ شحنةَ $-8.0\ \mu C$. ما القوَّةُ الكهربائيةُ بين البالونِ والقماشِ إذا كانتِ المسافةُ بينهما 5×10^{-2} m؟

2. كرتانِ موصِّلتانِ ومتماثلتانِ تفصلُ بين مركزَيْهما مسافةُ 0.30 m. أُعطيتْ إحداهما شحنةَ $+12 \times 10^{-9}$ C والأخرى شحنةَ -18×10^{-9} C.
   أ. جدِ القوَّةَ الكهربائيةَ المطبَّقةَ من واحدةٍ على الأخرى.
   ب. تمَّ وصلُ الكرتَيْنِ بسلكٍ موصِّل. جدِ القوَّةَ الكهربائيةَ بينهما بعد الاتزان.

3. شحنتانِ نقطيتانِ $+60.0\ \mu C$ و $+50.0\ \mu C$ تتنافرانِ بقوَّةِ 175 N. جدِ المسافةَ بينهما.

القوَّةُ المحصَّلةُ على الشحنة

هناك، وفي معظمِ الأحيان، أكثرُ من شحنتَيْن، ومن الضروريِّ إيجادُ القوَّةِ الكهربائيةِ المحصَّلةِ على كلٍّ منها. يزوِّدُنا قانونُ كولومب، كما يظهرُ في المثال 6 (أ)، بالقوَّةِ الكهربائيةِ بين أيِّ شحنتَيْن. لكن يمكنُ تطبيقُ قانونِ كولومب في حالِ وجودِ أكثرَ من شحنتَيْن. عندها تكونُ القوَّةُ المحصَّلةُ على شحنةٍ هي الجمعَ الاتجاهيَّ للقوى التي تطبِّقُها الشحناتُ الأخرى على هذه الشحنة. ويُعتبَرُ هذا مثالاً على *مبدأ التراكب*.

تمَّ تقديمُ هذه الطريقةِ في الفصولِ السابقة. العمليةُ هي نفسُها هنا مع فارقِ نوعِ القوى المستعملة، والتي هي في هذا الفصلِ قوًى كهربائية. تُجمعُ القوى الكهربائية، بعد الحصولِ عليها بتطبيقِ قانونِ كولومب، تمامًا كجمعِ أيٍّ من أنواعِ القوى التي وردتْ في الفصولِ السابقة. ويوضِّحُ المثالُ 6 (ب) عمليةَ الجمعِ هذه.

الفيزياءُ والحياة

1. **القوَّةُ الكهربائية** إن القوَّةَ الكهربائيةَ أكبرُ كثيرًا من قوَّةِ الجاذبية. برغمِ شعورِنا بتأثيرِ الجاذبيةِ علينا ونحن على الأرض، فإننا لا نشعرُ عادةً بتأثيراتِ القوَّةِ الكهربائية. اشرحِ السبب.

2. **إلكتروناتُ قطعةِ النقدِ المعدنية** تحتوي قطعةُ النقدِ العاديةُ المصنوعةُ من النيكل على حوالي 10^{24} إلكترون، يتنافرُ بعضُها مع بعض. لماذا تبقى الإلكتروناتُ في القطعةِ ولا تفرُّ منها؟

3. **البالوناتُ المشحونة** بأيِّ فعلٍ تتغيَّرُ قوَّةُ التنافرِ بين بالونَيْنِ مشحونَيْنِ بشحنتَيْنِ سالبتَيْنِ إذا تضاعفتِ المسافةُ بينهما؟

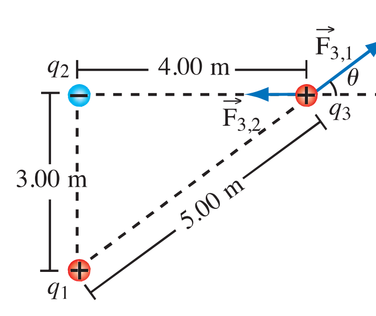


مثال 6 (ب)

مبدأُ التراكب

المسألة

تقعُ ثلاثُ شحناتٍ نقطيةٍ على الزوايا الثلاثِ لمثلَّثٍ يظهرُ في الشكل 6-5، حيث $q_1 = 6.00 \times 10^{-9}$ C، $q_2 = -2.00 \times 10^{-9}$ C، $q_3 = 5.00 \times 10^{-9}$ C. جِدْ مقدارَ واتجاهَ القوَّةِ المحصَّلةِ على q_3.



الشكل 6-6

الحل

المعطى:

$q_1 = +6.00 \times 10^{-9}$ C $\qquad r_{2,1} = 3.00$ m

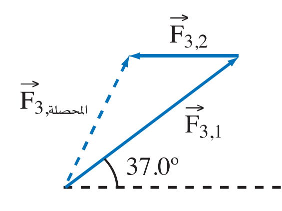
$q_2 = -2.00 \times 10^{-9}$ C $\qquad r_{3,1} = 5.00$ m

$q_3 = +5.00 \times 10^{-9}$ C $\qquad r_{3,2} = 4.00$ m

$k_C = 8.99 \times 10^9$ N•m²/C² $\qquad \theta = 37.0°$

المجهول: $\vec{F}_{3,\text{المحصلة}} = ?$

المخطط:



الشكل 7-6

1. **أحسبُ مقدارَ كلِّ قوَّةٍ بوساطةِ قانونِ كولومب:** تبعًا لمبدأ التراكبِ تساوي القوَّةُ المحصَّلةُ على q_3 الجمعَ الاتجاهيَّ للقوى التي تبذلُها q_1 وq_2 على q_3. أجدُ أولاً القوَّةَ التي تطبِّقُها كلٌّ من q_1 وq_2 على q_3 ثم أجمعُ القوتينِ بيانيًّا لأحصلَ على القوَّةِ المحصَّلةِ على q_3.

$$F_{3,1} = k_C\frac{q_3q_1}{(r_{3,1})^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N•m}^2/\text{C}^2)\left(\frac{(5.00 \times 10^{-9}\text{ C})(6.00 \times 10^{-9}\text{ C})}{(5.00\text{ m})^2}\right)$$

$$F_{3,1} = 1.08 \times 10^{-8}\text{ N}$$

$$F_{3,2} = k_C\frac{q_3q_2}{(r_{3,2})^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N•m}^2/\text{C}^2)\left(\frac{(5.00 \times 10^{-9}\text{ C})(2.00 \times 10^{-9}\text{ C})}{(4.00\text{ m})^2}\right)$$

$$F_{3,2} = 5.62 \times 10^{-9}\text{ N}$$

2. أحدّدُ اتجاهَ القوى بتحديدِ الشحنات:

$\vec{F}_{3,1}$ قوّةُ تنافرٍ لأن لـ q_1 و q_2 الإشارةَ نفسَها.

$\vec{F}_{3,2}$ قوّةُ تجاذبٍ لأن لـ q_2 و q_3 إشارتَيْنِ متعاكستَيْن.

3. أجدُ المركّبتيْنِ x و y لكلّ قوة:

في عمليةِ الحسابِ أتنبَّهُ إلى اتجاهِ كلّ مركّبة.

مركّبتا $\vec{F}_{3,1}$:

$$F_x = (F_{3,1})(\cos 37.0^o) = (1.08 \times 10^{-8}\ N)(\cos 37.0^o) = 8.63 \times 10^{-9}\ N$$

$$F_y = (F_{3,1})(\sin 37.0^o) = (1.08 \times 10^{-8}\ N)(\sin 37.0^o) = 6.50 \times 10^{-9}\ N$$

مركبتا $\vec{F}_{3,2}$:

$$F_x = F_{3,2} = -5.62 \times 10^{-9}\ N$$

$$F_y = 0\ N$$

4. أحسبُ مقدارَ القوّةِ المحصّلةِ في الاتجاهَيْن:

$$F_{x,\text{المحصلة}} = 8.63 \times 10^{-9}\ N - 5.62 \times 10^{-9}\ N = 3.01 \times 10^{-9}\ N$$

$$F_{y,\text{المحصلة}} = 6.50 \times 10^{-9}\ N + 0\ N = 6.50 \times 10^{-9}\ N$$

5. أستعملُ نظريةَ فيثاغورس لإيجادِ مقدارِ القوّةِ المحصّلة:

$$F_{3,\text{المحصلة}} = \sqrt{(F_{x,\text{المحصلة}})^2 + (F_{y,\text{المحصلة}})^2}$$

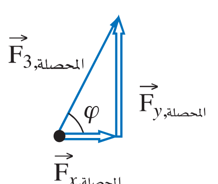
$$F_{3,\text{المحصلة}} = \sqrt{(3.01 \times 10^{-9}\ N)^2 + (6.50 \times 10^{-9}\ N)^2} = \boxed{7.16 \times 10^{-9}\ N}$$

6. أستعملُ دالّةً مثلّثيةً مناسبةً لإيجادِ اتجاهِ القوّةِ المحصّلة:

في هذه الحالةِ استعملُ دالّةَ مقابلِ الظلّ:

$$\tan\ \varphi = \frac{F_{y,\text{المحصلة}}}{F_{x,\text{المحصلة}}} = \frac{6.50 \times 10^{-9}\ N}{3.01 \times 10^{-9}\ N}$$

$$\boxed{\varphi = 65.2^o}$$



الشكل 8-6

7. أقيّم الجواب:

بما أن $F_{3,1}$ قوّةُ تنافر و $F_{3,2}$ قوّةُ تجاذب،
يجبُ أن يكونَ مقدارُ القوّةِ المحصّلةِ ($F_{3,\text{الكلية}}$) بين هاتَيْنِ القيمتَيْن، أي:

$$1.08 \times 10^{-8}\ N\ (F_{3,1}) > 7.16 \times 10^{-9}\ N\ (F_{3,\text{المحصلة}}) > 5.62 \times 10^{-9}\ N\ (F_{3,2})$$

تطبيق 6 (ب)

مبدأ التراكب

1. تقعُ ثلاثُ شحناتٍ نقطية q_1 (x = 0) و q_2 (x = 3.0 cm) و q_3 (x = 5.0 cm) على محور x. احسبْ مقدارَ القوّةِ الكهربائيةِ واتجاهَها على كلٍّ من الشحنات حيث $q_1 = +6.0\ \mu C$ و $q_2 = +1.5\ \mu C$ و $q_3 = -2.0\ \mu C$.

2. توزّعت أربعةُ جسيماتٍ مشحونةٍ على الزوايا الأربعِ لمربعٍ ضلعُه 15 cm. شحنةُ الزاويةِ العليا اليسرى $+3.0\mu C$، وشحنةُ الزاويةِ العليا اليمنى $-6.0\ \mu C$، وشحنةُ الزاويةِ السفلى اليسرى $-2.4\ \mu C$، وشحنةُ الزاويةِ السفلى اليمنى $-9.0\ \mu C$. ما القوّةُ الكهربائيةُ المحصّلةُ على الشحنةِ:

أ. $+3.0\ \mu C$؟

ب. $-6.0\ \mu C$؟

ج. $-9.0\ \mu C$؟

درسْنا في فصولٍ سابقةٍ أن الأجسامَ الساكنةَ تكونُ في حالةِ اتزان، وتبعًا للقانونِ الأوّلِ لنيوتن تكونُ محصِّلةُ القوى المؤثِّرةِ في الجسمِ صفرًا. في الحالاتِ الإلكتروستاتيكيةِ يكونُ موقعُ اتزانِ الشحنةِ حيث تكونُ القوَّةُ الكهربائيةُ المحصَّلةُ صفرًا. لتحديدِ هذا المكان، يجبُ عليك إيجادُ الموقعِ الذي تتساوى فيهِ بالمقدارِ وتتعاكسُ فيه في الاتجاهِ القوَّةُ الكهربائيةُ من الشحنةِ الأولى مع القوَّةِ الكهربائيةِ من الشحنةِ الأخرى. يتحقَّقُ ذلك بتساوي مقدارَيِ القوَّتَيْن، ثم إيجادِ المسافةِ بين إحدى الشحنتَيْنِ ومركزِ الاتّزان. يوضِحُ المثال 6 (ج) التالي عمليةَ الحلّ.

مثال 6 (ج)

الاتّزان

المسألة

تقعُ ثلاثُ شحناتٍ على طولِ محور x. الشحنةُ الأولى $q_1 = 15\ \mu C$ موجبة وتقعُ عند $x = 2.0$ m والشحنةُ الثانيةُ $q_2 = 6.0\ \mu C$ موجبة وتقعُ على نقطةِ الأصل. أين يجبُ وضعُ شحنةٍ ثالثةٍ سالبة q_3 على محورِ x بحيث تصبحُ القوَّةُ المحصَّلةُ على q_3 صفرًا؟

الحــل

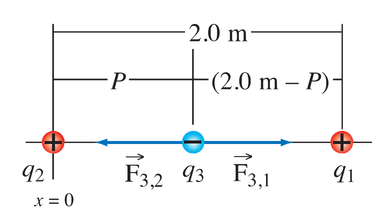
1. أعرِّف

المعطى: $q_1 = 15\ \mu C = 15 \times 10^{-6}$ C $\quad r_{3,1} = 2.0\ m - P$

$q_2 = 6.0\ \mu C = 6.0 \times 10^{-6}$ C $\quad r_{3,2} = P$

المجهول: المسافةُ (P) بين الشحنةِ السالبةِ q_3 والشحنةِ الموجبةِ q_2، شرطَ أن تكونَ القوَّةَ المحصَّلةَ على q_3 صفرًا.

الرسم:



2. أخطِّط **أختارُ معادلةً (أو معادلاتٍ) أو موقفًا:** تكونُ القوةُ التي تطبِّقُها q_2 على q_3 معاكسةً للقوَّةِ التي تطبِّقُها q_1 على q_3 إذا كانت q_3 على المحورِ x بين q_1 و q_2. وحيثُ أن القوَّةَ المحصَّلةَ صفر، فالقوَّتانِ $\vec{F}_{3,1}$ و $\vec{F}_{3,2}$، اللتانِ يمكنُ حسابُهما بوساطةِ قانونِ كولومب، تكونانِ متساويتَيْنِ في المقدار.

$$F_{3,2} = k_C\left(\frac{q_3q_2}{(r_{3,2})^2}\right) \text{ و } F_{3,1} = k_C\left(\frac{q_3q_1}{(r_{3,1})^2}\right)$$

$$F_{3,2} = F_{3,1}$$

$$k_C\left(\frac{q_3q_1}{(r_{3,1})^2}\right) = k_C\left(\frac{q_3q_2}{(r_{3,2})^2}\right)$$

3. أحسب **أعوِّضُ القيمَ في المعادلاتِ وأحلّ:**

$$k_C\left(\frac{q_3(15 \times 10^{-6}\ \text{C})}{(2.0\ \text{m} - P)^2}\right) = k_C\left(\frac{q_3(6.0 \times 10^{-6}\ \text{C})}{P^2}\right)$$

يمكنُ اختزالُ k_C و 10^{-6} و q_3 من طرفَيِ المعادلة. تُختزلُ الوحدةُ C أيضًا.

$$\frac{15}{(2.0\ \text{m} - P)^2} = \frac{6.0}{P^2}$$

$$(P^2)(15) = (2.0\ \text{m} - P)^2(6.0)$$

بعد أخذِ الجذرِ التربيعيِّ للطرفَيْن وعزلِ P، أحصلُ على:

$$P\sqrt{15} = (2.0\ \text{m} - P)\sqrt{6.0}$$

$$P = (2.0\ \text{m} - P)\sqrt{\frac{6.0}{15}}$$

$$P = 1.3\ \text{m} - (0.63)(P)$$

$$(1.63)(P) = 1.3\ \text{m}$$

$$\boxed{P = 0.80\ \text{m}\ (\text{بعيدًا عن الشحنة } q_2)}$$

4. أقيِّم بما أن q_1 أكبرُ من q_2، أتوقَّعُ أن تكونَ q_3 أقربَ إلى q_2 لكي تتوازنَ القوَّتان. يبدو الجوابُ معقولاً، لأن المسافةَ بين q_3 و q_2 هي 0.80 m وبين q_3 و q_1 هي 1.2 m.

تطبيق 6 (ج)

الاتزان

1. وُضعَتْ شحنةٌ $+2.00 \times 10^{-9}$ C على نقطةِ الأصل، وشحنةٌ أخرى $+4.00 \times 10^{-9}$ C عند $x = 1.5$ m. جِدْ موقعًا بين الشحنتَيْنِ للشحنةِ $+3.00 \times 10^{-9}$ C بحيثُ تكونُ القوَّةُ المحصَّلةُ عليها صفرًا.

2. تبعدُ شحنةٌ $q_1 = -5.00 \times 10^{-9}$ C مسافةَ 40.0 cm عن شحنة $q_2 = -2.00 \times 10^{-9}$ C. جِدْ موقعَ الاتِّزانِ لشحنة $q_3 = +15.0 \times 10^{-9}$ C بينهما.

3. أُفلِتَ إلكترونٌ فوق سطحِ الأرض، وإلكترونٌ آخرُ يقعُ تحته يطبِّقُ قوَّةً كهربائيةً على الأوَّلِ كافيةً لمعادلةِ قوَّةِ الجاذبيةِ على هذا الإلكترون. جدِ المسافةَ بين الإلكترونَيْن.

القوَّةُ الكهربائيةُ قوَّةٌ مجالية

قوَّةُ كولومب تشكِّلُ مثالاً آخرَ لقوَّةٍ يطبِّقُها جسمٌ على جسمٍ آخرَ بالرغمِ من عدمِ وجودِ تماسٍّ فيزيائيٍّ بينهما. وقد سُمِّيَتْ هذه القوَّةُ، *قوَّةً مجالية*. تذكَّرْ أن قوَّةَ الجاذبيةِ هي أيضًا قوَّةٌ مجالية. إذن، كلتا القوَّتَيْنِ تتناسبُ عكسيًّا مع مربَّعِ المسافةِ الفاصلة.

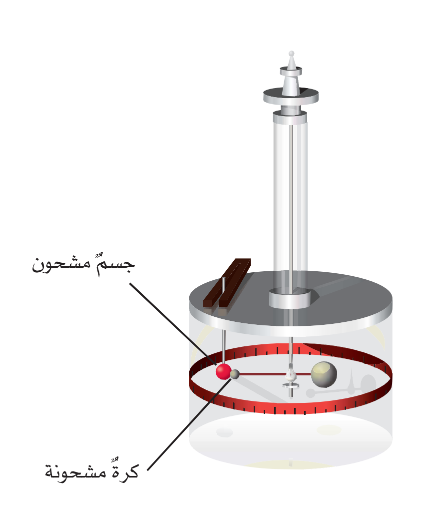
لكن يوجدُ بين القوَّتينِ الكهربائيةِ والجاذبيةِ بعضُ الفروقاتِ الأساسية. أولاً، القوى الكهربائيةُ قد تكونُ قوى جذبٍ أو قوى تنافر، بينما تكونُ قوى الجاذبيةِ دائمًا قوى جذب. السببُ في ذلك أن الأجسامَ قد تكونُ موجبةً أو سالبةً بينما تكونُ الكتلةُ دائمًا موجبة.

الفرقُ الآخرُ بينهما تعبِّرُ عنه نسبةُ أحدِهما إلى الآخر، كما يظهرُ في المثال 6 (أ). فالقوَّةُ الكهربائيةُ أكبرُ كثيرًا من قوَّةِ الجاذبية. ونتيجةً لذلك، تكونُ القوَّةُ الكهربائيةُ بين جسمَيْنِ ذريَّيْنِ مشحونَيْنِ أكبرَ كثيرًا من قوَّةِ جذبِهما نحو الأرض.

في العالمِ الواسعِ نشعرُ بنسبيةِ هذه القوى عندما نلاحظُ كم هي صغيرةٌ كمِّيةُ الشحنةِ اللازمةِ للتغلُّبِ على القوَّةِ الجذبية. فمثلاً، إذا أمسكتَ ببالونٍ، بعد دلكِهِ بشعرِك، فوق شعرِكَ مباشرةً، يقفُ شعرُك على طولِه، لأنه ينجذبُ إلى البالون. بالرغمِ من أن كمِّيةَ الشحناتِ التي انتقلَتْ من شعرِكَ إلى البالون قليلة، فإن القوَّةَ الكهربائيةَ بين البالونِ وشعرِكَ أقوى من قوَّةِ الجاذبيةِ العاديةِ التي تجذبُ شعرَكَ نحو الأرض.

تحديدُ مقدارِ القوَّةِ الكهربائيةِ بوساطةِ الميزانِ الالتوائي

تعرَّفتَ في بدايةِ الفصل إلى تشارلز كولومب، أوَّلِ شخصٍ يقيسُ القوَّةَ الكهربائيةَ ويرسِّخُ قانونَ التربيعِ العكسيِّ للشحناتِ الكهربائية. تمكَّنَ كولومب من قياسِ القوى الكهربائيةِ بين الأجسامِ المشحونةِ بوساطةِ الميزانِ الالتوائيِّ، الظاهرِ في **الشكل 6-9**. يتألَّفُ الميزانُ من كرتَيْنِ صغيرتَيْنِ مثبَّتتَيْنِ في طرفَي قضيبٍ خفيفٍ أفقيّ. القضيبُ، وهو مصنَّعٌ من مادَّةٍ عازلةٍ، يتدلّى بوساطةِ خيطِ حرير.



الشكل 6-9
يُستعملُ ميزانُ كولومبَ الإلتوائيُّ ليبرهنَ قانونَ التربيعِ العكسيِّ للقوةِ الكهربائيةِ بين شحنتَيْن.

تُعطَى إحدى الكرتَيْن في هذه التجربةِ شحنةً، ويتمُّ وضعُ جسمٍ آخرَ مشحونٍ بالقربِ من الكرةِ المشحونة. قوَّةُ التنافرِ أو التجاذبِ بين الاثنَيْن تدفعُ القضيبَ فيدورُ ويلتوي. تُقاسُ زاويةُ دورانِ القضيبِ من خلالِ انحرافِ شعاعِ الضوءِ المنعكسِ على مرآةٍ مربوطةٍ بالسلكِ المتدلّي. يدورُ القضيبُ بزاويةٍ معيَّنةٍ مقاومًا قوَّةَ استعادةِ السلكِ الملوي قبل وصولِهِ إلى الاتّزان. تزدادُ زاويةُ الدورانِ بازديادِ الشحنة، ممّا يساعدُنا على قياسِ القوَّةِ الكهربائية. استطاعَ كولومب من خلالِ هذه التجربةِ تحقيقَ معادلةِ القوَّةِ الكهربائيةِ التي وردَتْ في بدايةِ القسم. والتجاربُ التي أجريتْ حديثًا عزَّزَتْ هذه النتائجَ بدرجةٍ عاليةٍ من الدِّقة.

مراجعةُ القسم 6-2

1. اكتسبَتْ كرةٌ زجاجيةٌ صغيرةٌ بعد دلكِها بالحريرِ شحنةَ $+2.0\ \mu C$. ثم وُضعَتْ على مسافةِ $12\ cm$ من كرةٍ مطّاطيةٍ صغيرةٍ مشحونةٍ تحملُ $-3.5\ \mu C$.
أ. ما مقدارُ القوَّةِ الكهربائيةِ بين الكرتَيْن؟
ب. أهي قوَّةُ جذبٍ أم قوَّةُ تنافرٍ؟
ج. كم إلكترونًا خسرَتِ الكرةُ الزجاجيةُ بعد حكِّها؟

2. تضاعفَتِ القوَّةُ بين قُطيرةِ الطلاءِ ذاتِ الشحنةِ السالبةِ وجسمِ السيّارةِ ذي الشحنةِ الموجبة، دون تغييرٍ في الشحنات. ما التغيُّرُ الذي طرأ على المسافةِ بينهما؟ (افترضْ أن شحنةَ جسمِ السيّارةِ مركَّزةٌ في نقطةٍ معيَّنة.)

3. تقعُ شحنةُ $+2.2 \times 10^{-9}\ C$ عند $x = 1.5\ m$، وشحنةُ $+5.4 \times 10^{-9}\ C$ عند $x = 2.0\ m$، وشحنةُ $+3.5 \times 10^{-9}\ C$ على نقطةِ الأصل. جدِ القوةَ المحصِّلةَ على الشحنةِ في نقطةِ الأصل.

4. تبعدُ شحنةُ $q_1 = -6.00 \times 10^{-9}\ C$ مسافةَ $60.0\ cm$ عن شحنةِ $q_2 = -3.00 \times 10^{-9}\ C$. أين يجبُ وضعُ شحنةٍ ثالثةٍ بحيثُ تكونُ القوَّةُ المحصَّلةُ عليها صفرًا؟

5. **تفكيرٌ ناقد** قارنْ بين القوَّةِ الكهربائيةِ وقوَّةِ الجاذبيةِ من خلالِ بعضِ أوجهِ الشبهِ والاختلاف.

القسم 3-6 المجالُ الكهربائي

The Electric Field

3-6 أهدافُ الدرسِ

- يحسبُ شدةَ المجالِ الكهربائيِّ.
- يرسمُ ويفسِّرُ خطوطَ المجالِ الكهربائيِّ.
- يحدِّدُ الخصائصَ الأربعَ المرتبطةَ بموصِّلٍ في حالِ اتِّزانٍ إلكتروستاتيكي.

شدّةُ المجالِ الكهربائيّ

تذكَّرْ أن القوى المجالية، ومثالُها القوَّةُ الكهربائيةُ وقوَّةُ الجذبية، بالمقارنةِ مع قوى التماسّ، لا تتطلَّبُ تماسًّا فيزيائيًّا بين جسمَيْن. باستطاعةِ القوى المجاليةِ إحداثُ تأثيرٍ في الفضاءِ بالرغمِ من عدمِ وجودِ تماسٍّ فيزيائيٍّ بين الأجسام. يساعدُ مفهومُ المجالِ على تفسيرِ التالي: كيف يؤثِّرُ جسمانِ متباعدانِ أحدُهما في الآخر؟ فمثلاً، يُحدِثُ جسمٌ مشحونٌ *مجالاً كهربائيًّا* في الفضاءِ المحيطِ به. وعندما يدخلُ جسمٌ مشحونٌ آخرُ هذا المجالَ تنشأُ قوًى ذاتُ طبيعةٍ كهربائية. بمعنًى آخر، يتفاعلُ الجسمُ الآخرُ مع مجالِ الجسمِ الأوَّل.

المجالُ الكهربائي

منطقةٌ في الفضاءِ تحيطُ بجسمٍ مشحونٍ، تظهرُ فيها آثارُ القوَّةِ الكهروستاتيكية.

للتوصُّلِ إلى تعريفٍ أدقَّ للمجالِ الكهربائيِّ نستعينُ **بالشكل 10-6**، حيث يظهرُ جسمٌ يحملُ شحنةً موجبةً صغيرة، q_0، وُضِعتْ بالقربِ من جسمٍ آخرَ يحملُ شحنةً موجبةً أكبر، Q. تُعرَّفُ شدَّةُ المجالِ الكهربائي، E، عند موقعِ q_0 كمقدارٍ للقوَّةِ الكهربائيةِ المؤثِّرةِ في q_0 مقسومًا على الشحنة q_0:

$$E = \frac{F_{\text{الكهربائية}}}{q_0}$$

تلاحظُ أن المجالَ الكهربائيَّ عند موقعِ q_0 قد أحدثتْهُ الشحنةُ Q وليس الشحنةُ q_0. علمًا أن وحدةَ المجالِ الكهربائيِّ في النظامِ الدولي SI للوحدات هي N/C.

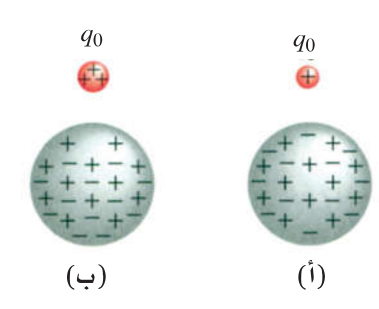
بما أن المجالَ الكهربائيَّ كمِّيةٌ اتِّجاهيَّة، فإنَّ اتجاهَ $\vec{E}$ عند نقطةٍ معيَّنةٍ يعرِّفُ اتجاهَ القوَّةِ الكهربائيةِ التي طُبِّقَتْ على شحنةٍ موجبةٍ صغيرة (تسمَّى شحنةَ اختبار) موضوعةٍ عند تلكَ النقطة. يكونُ إذن، كما في **الشكل 10-6** (أ)، اتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ أفقيًّا إلى اليمين، لأن الشحنةَ الموجبةَ تتنافرُ مع الكرةِ الموجبة. وفي **الشكل 10-6**(ب) يكون اتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ إلى اليسار، لأن الشحنةَ الموجبةَ تتجاذبُ في اتجاهِ الكرةِ المشحونةِ السالبة. بمعنى آخر، يعتمدُ اتجاهُ $\vec{E}$ على إشارةِ الشحنةِ التي تُحدِثُ المجال.



الشكل 10-6

(أ) جسمٌ صغيرٌ موجبٌ يقعُ في المجالِ الكهربائيِّ، $\vec{E}$، لجسمٍ آخرَ يحملُ شحنةً موجبةً أكبر، ويتأثَّرُ بقوَّةٍ كهربائيةٍ موجَّهةٍ إلى اليمين. (ب) جسمٌ صغيرٌ موجبٌ يقعُ في المجالِ الكهربائيِّ، $\vec{E}$، لجسمٍ آخرَ يحملُ شحنةً سالبة، ويتأثَّرُ بقوَّةٍ كهربائيةٍ موجَّهةٍ إلى اليسار.

لكي نكتشفَ المجالَ في المنطقةِ المحيطةِ بالكرةِ الموصِّلةِ ذاتِ الشحنةِ الموجبة، نضعُ شحنةً اختباريةً موجبة، q_0، في مواقعَ متعدِّدةٍ بالقربِ من الكرة (**الشكل 11-6** (أ)). لإيجادِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ عند كلِّ نقطة، يجبُ أن تجدَ القوَّةَ الكهربائيةَ على هذه الشحنةِ وتقسمَها على مقدارِ شحنةِ الاختبار.



الشكل 11-6

نفترضُ وجودَ شحنةِ اختبارٍ صغيرةٍ كما في (أ)، إن شحنةَ اختبارٍ أكبرَ، كما في (ب)، قد تسبِّبُ إعادةَ توزيعٍ للشحنةِ على الكرة، مما يغيِّرُ في شدةِ المجالِ الكهربائيّ.

عندما يكونُ مقدارُ شحنةِ الاختبارِ كبيرًا إلى حدِّ التأثيرِ في شحنةِ الكرةِ الموصِّلة، يصعبُ تعريفُنا للمجالِ الكهربائيّ. وتبعًا لقانونِ كولومب، فإنَّ شحنةً اختباريةً كبيرةً تسبِّبُ إعادةَ تنظيمٍ للشحناتِ على الكرة، كما يظهرُ في **الشكل 11-6** (ب). وبحسبِ هذا القانونِ تصيرُ القوَّةُ المؤثِّرةُ في شحنةِ الاختبارِ مختلفةً عما يجبُ أن تكونَ عليه في غيابِ الحركةِ التي حدثَتْ للشحنةِ على الكرة. بالإضافةِ إلى ذلك تكونُ الشدةُ المقيسةُ للمجالِ الكهربائيِّ مختلفةً عما يجبُ أن تكونَ عليه في غيابِ شحنةِ الاختبار. لتفادي هذه المشكلةِ نفترضُ أن الشحنةَ الاختباريةَ صغيرةٌ إلى حدٍّ يكفي لتجاهلِ تأثيرِها على موقعِ الشحناتِ على الكرة.

تعتمدُ شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ على الشحنةِ والمسافة

لإعادةِ صياغةِ معادلتِنا التي تعبِّرُ عن شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ الناتجِ عن شحنةٍ نقطية، نأخذُ شحنةً q تقعُ على مسافةٍ r من شحنةٍ اختباريةٍ صغيرة q_0. تبعًا لقانونِ كولومب، يعبَّرُ عن مقدارِ القوَّةِ المؤثِّرةِ في شحنةِ اختبارٍ بالمعادلةِ التالية:

$$F_{\text{الكهربائية}} = k_C \frac{qq_0}{r^2}$$

نعوِّضُ قيمةَ $F_{\text{الكهربائية}}$ في المعادلةِ السابقةِ لشدَّةِ المجالِ الكهربائيّ:

$$E = \frac{F_{\text{الكهربائية}}}{q_0} = k_C \frac{qq_0}{r^2 q_0}$$

عند اختصارِ q_0 نحصلُ على معادلةٍ جديدةٍ لشدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ الذي تحدثُهُ شحنةٌ نقطية.

شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ لشحنةٍ نقطيةٍ عند نقطةٍ ما

$$E = k_C \frac{q}{r^2}$$

شدَّة المجالِ الكهربائي = ثابت كولومب × $\frac{\text{الشحنة المحدثة للمجال}}{(\text{المسافة})^2}$

ذكرْنا من قبلُ أنَّ المجالَ الكهربائيَّ $\vec{E}$ هو كمِّيَّةٌ اتِّجاهيَّة. ويكونُ اتِّجاهُهُ $\vec{E}$ مركزيًّا إلى الخارجِ من q الموجبة، ومركزيًّا إلى الداخلِ في اتجاهِ q السالبة. وكما هي الحالُ مع القوَّةِ الكهربائيةِ يطبَّقُ مبدأُ التراكبِ لحسابِ المجالِ الكهربائيِّ لأكثرَ من شحنةٍ واحدة، كما يوضِّح المثال 6 (د).

تُبرزُ معادلتُنا الجديدةُ لشدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ خاصةً مهمَّةً للمجالاتِ الكهربائية. تشيرُ معادلةُ المجالِ الكهربائيِّ عند نقطةٍ معيَّنةٍ إلى اعتمادِه فقط على الشحنةِ q للجسمِ الذي يُحدثُ المجال، وعلى المسافةِ r من ذلك الجسمِ إلى نقطةٍ محدَّدةٍ في الفضاء. نتيجةً لذلك، نستطيعُ القولَ إن المجالَ الكهربائيَّ يكونُ عند أيِّ نقطةٍ بالقربِ من الجسمِ المشحونِ حتى وإن لم يكنْ هناك شحنةُ اختبارٍ عند تلك النقطة. يظهرُ **الجدول 3-6** أمثلةً على مقاديرِ مجالاتٍ كهربائيةٍ متعدِّدة.

مراجعة مفاهيم

كما تعتمدُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيةُ على موقعِ الجسمِ في مجالِ الجاذبية، كذلك هناك نوعٌ من الطاقةِ الكامنةِ يسمّى الطاقةَ الكامنةَ الكهربائية، وهي تعتمدُ على موقعِ الشحنةِ في المجالِ الكهربائي.

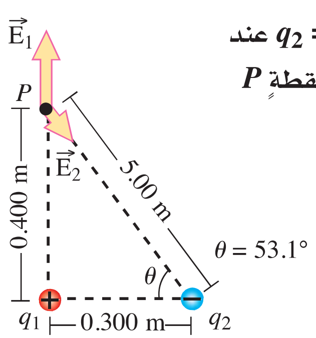
الجدول 3-6 المجالاتُ الكهربائية

مثال	E بوحدة N/C
داخلَ المصباحِ الفلوري	10
في الجوِّ حيثُ الطقسُ معتدل	100
تحت غيمةٍ رعديةٍ أو في حزامِ برق	10000
على الإلكترونِ داخلَ ذرَّةِ الهيدروجين	5.1×10^{11}

مثال 6 (د)

المجالُ الكهربائي

المسألة



الشكل 12-6

تقعُ شحنةُ $q_1 = +7.00\ \mu C$ على نقطةِ الأصل، وشحنةُ $q_2 = -5.00\ \mu C$ عند $x = 0.300\ m$، كما يظهرُ في الشكل 12-6. جدِ المجالَ الكهربائيَّ عند نقطةٍ P تقعُ على محورِ y وتبعدُ عن نقطةِ الأصل مسافةَ 0.400 m.

الاستنباط

يجبُ تطبيقُ مبدأ التراكبِ لحسابِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ الناتجِ عن مجموعةٍ من الشحناتِ النقطية. أحسبُ أولاً شدَّةَ المجالِ الكهربائيِّ الذي تُحدِثُهُ كلُّ شحنةٍ منفردةٍ عند النقطةِ P، وبعدَها أجمعُ شدَّةَ هذه المجالاتِ كمتَّجَهات.

الحـلّ

المعطى:

$q_1 = +7.00\ \mu C = 7.00 \times 10^{-6}\ C$ $\quad$ $r_1 = 0.400\ m$

$q_2 = -5.00\ \mu C = -5.00 \times 10^{-6}\ C$ $\quad$ $r_2 = 0.500\ m$

$k_C = 8.99 \times 10^9\ N{\bullet}m^2/C^2$ $\quad$ $\theta = 53.1°$

المجهول: $\vec{E}$ على النقطة P حيث $y = 0.400\ m$

1. **أحسبُ مقدارَ المجالِ الكهربائيِّ الذي تُحدِثُهُ كلُّ شحنة:** بما أنني أحسبُ مقدارَ المجالِ الكهربائيِّ فسأهملُ إشارةَ كلِّ شحنة.

$$E_1 = k_C\frac{q_1}{r_1^2} = (8.99 \times 10^9\ N{\bullet}m^2/C^2)\left(\frac{7.00 \times 10^{-6}\ C}{(0.400\ m)^2}\right) = 3.93 \times 10^5\ N/C$$

$$E_2 = k_C\frac{q_2}{r_2^2} = (8.99 \times 10^9\ N{\bullet}m^2/C^2)\left(\frac{5.00 \times 10^{-6}\ C}{(0.500\ m)^2}\right) = 1.80 \times 10^5\ N/C$$

2. **أحدِّدُ اتِّجاهَ كلِّ مجالٍ كهربائيٍّ بتحديدِ إشاراتِ الشحنات:** يتجهُ $\vec{E}$ الذي تُحدِثُهُ q_1 على P عموديًّا إلى أعلى لأن q_1 موجبة، كما يظهرُ في **الشكل 12-5** . وكذلك يتَّجهُ $\vec{E}$ الذي تحدِثُهُ q_2 على P في اتجاهِ q_2 لأن q_2 سالبة.

3. **أجدُ المركَّبتيْن x و y لشدَّةِ كلِّ مجالٍ كهربائيّ:** يجبُ عند هذه النقطةِ اعتبارُ اتجاهِ كلِّ مركَّبة.

مركَّبتا $\vec{E}_1$:

$$E_{x,1} = 0\ N/C$$

$$E_{y,1} = 3.93 \times 10^5\ N/C$$

مركَّبتا $\vec{E}_2$:

$$E_{x,2} = (E_2)(\cos 53.1°) = (1.80 \times 10^5\ N/C)(\cos 53.1°) = 1.08 \times 10^5\ N/C$$

$$E_{y,2} = -(E_2)(\sin 53.1°) = -(1.80 \times 10^5\ N/C)(\sin 53.1°) = -1.44 \times 10^5\ N/C$$

4. أحسبُ محصِّلةَ المجالِ الكهربائيِّ في كلا الاتجاهَيْن x و y:

$$E_{x,\text{المحصلة}} = E_{x,1} + E_{x,2} = 0 \text{ N/C} + 1.08 \times 10^5 \text{ N/C} = 1.08 \times 10^5 \text{ N/C}$$

$$E_{y,\text{المحصلة}} = E_{y,1} + E_{y,2} = 3.93 \times 10^5 \text{ N/C} - 1.44 \times 10^5 \text{ N/C} = 2.49 \times 10^5 \text{ N/C}$$

5. أستعملُ نظريةَ فيثاغورس لإيجادِ محصِّلةِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ:

$$E_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(E_{x,\text{المحصلة}})^2 + (E_{y,\text{المحصلة}})^2}$$

$$E_{\text{المحصلة}} = \sqrt{(1.08 \times 10^5 \text{ N/C})^2 + (2.49 \times 10^5 \text{ N/C})^2}$$

$$\boxed{E_{\text{المحصلة}} = 2.71 \times 10^5 \text{ N/C}}$$

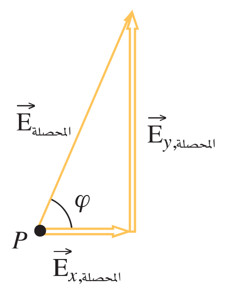
6. أستعملُ دالّةً مثلَّثيةً مناسبةً لإيجادِ اتجاهِ المحصِّلة:

في هذه الحالةِ أستعينُ بدالَّةِ الظلِّ العكسية:

$$\varphi = \tan^{-1} = \frac{E_{y,\text{المحصلة}}}{E_{x,\text{المحصلة}}}$$

$$\varphi = \tan^{-1} = \frac{2.49 \times 10^5 \text{ N/C}}{1.08 \times 10^5 \text{ N/C}}$$

$$\boxed{\varphi = 66.6^\circ}$$



الشكل 6-13

7. أقيِّم: بما أن المجالَ الكهربائيَّ عند النقطةِ P هو نتيجةٌ لشحنةٍ موجبةٍ وشحنةٍ سالبة، تكونُ E المحصلة بين E_1 و E_2:

$$3.93 \times 10^5 > 2.71 \times 10^5 > 1.80 \times 10^5$$

أو $E_1 > E_{\text{المحصلة}} > E_2$

تطبيق 6 (د)

المجالُ الكهربائي

1. تقعُ شحنةٌ $q_1 = 5.00\ \mu\text{C}$ على نقطةِ الأصل، وشحنةٌ ثانية $q_2 = -3.00\ \mu\text{C}$ على $x = 0.800$ m. جدْ شدَّةَ المجالِ الكهربائيِّ عند النقطةِ $y = 0.500$ m.

2. يُعتبَرُ متوسِّطُ المسافةِ التي تفصلُ البروتون عن الإلكترون في ذرَّةِ الهيدروجين حوالَيْ 5.3×10^{-11} m. ما شدَّةُ مجالِ البروتون الكهربائيِّ واتجاهُهُ عند موقعِ الإلكترون؟

3. مجالٌ كهربائيٌّ، مقدارُه 2.0×10^4 N/C، يتَّجهُ في الاتجاهِ الموجبِ لمحورِ x.
   أ. ما القوَّةُ الكهربائيةُ المؤثِّرةُ في إلكترونٍ يقعُ في هذا المجال؟
   ب. ما القوَّةُ الكهربائيةُ المؤثِّرةُ في بروتونٍ يقعُ في هذا المجال؟

خطوطُ المجالِ الكهربائي

لتصوُّرِ أنماطِ المجالِ الكهربائيِّ نستعينُ بأداةٍ بصريةٍ مساعدة، هي رسمٌ لخطوطٍ تشيرُ في اتجاهِ المجالِ وتسمّى **خطوطَ المجالِ الكهربائي** electric field lines. ومع أن الخطوطَ ليستْ حقيقية، فإنها تعتبرُ وسائلَ مفيدةً لتحديدِ المجالاتِ من خلالِ تمثيلِها، مقدارًا واتجاهًا، في نقاطٍ مختلفةٍ في الفضاء. إن هذا التمثيلَ مفيدٌ لأن شدَّةَ المجالِ عند كلِّ نقطةٍ هو عادةً النتيجةُ لأكثرَ من شحنةٍ واحدة، كما يظهرُ في المثال 6 (د). تتيحُ لك الخطوطُ المجاليةُ إذن تصوُّرًا أسهلَ لمحصِّلةِ المجالِ عند كلِّ نقطة.

خطوطُ المجالِ الكهربائي

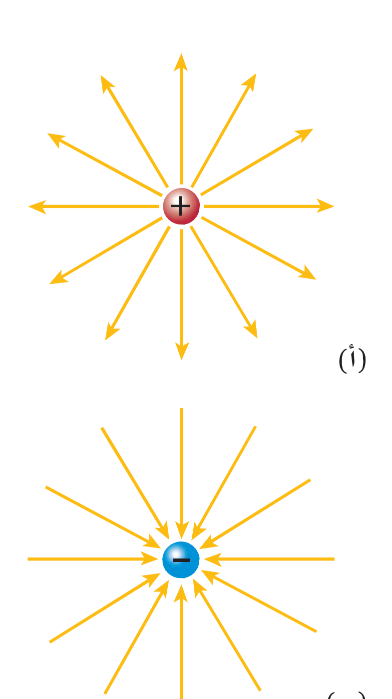
خطوطٌ تمثِّلُ مقدارَ واتجاهَ المجالِ الكهربائيِّ معًا.

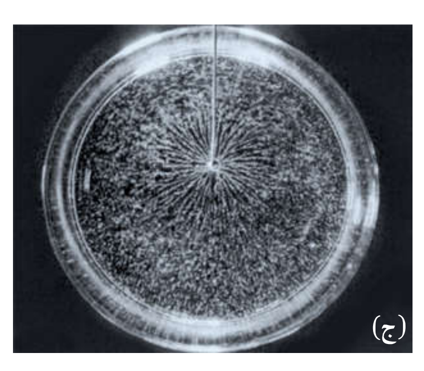
يتناسبُ عددُ خطوطِ المجالِ مع شدَّةِ المجالِ الكهربائيّ

من المتَّفقِ عليهِ أن يتمَّ رسمُ خطوطِ المجالِ بشكلٍ يكونُ فيه متَّجهُ المجالِ الكهربائي $\vec{E}$ مماسًّا للخطوطِ على كلِّ نقطة. بالإضافةِ إلى ذلك، يكونُ عددُ الخطوطِ في وحدةِ مساحةٍ على سطحٍ متعامدٍ مع الخطوطِ متناسبًا مع شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ في منطقةٍ معيَّنة. وبالتالي تكونُ $\vec{E}$ أقوى أينما كانت خطوطُ المجالِ متراصَّة (متقاربة)، وتكونُ أضعفَ حيثُما كانتْ متباعدة.

يظهرُ **الشكلُ 14-6** (أ) بعضَ خطوطِ المجالِ الكهربائي لشحنةٍ نقطيةٍ موجبة. لاحظْ أن هذا الرسمَ ذا البعدين يحتوي فقط على خطوط المجالِ التي تقعُ في المستوى الذي يحتوي على الشحنةِ النقطية. وفي الحقيقةِ تتَّجهُ الخطوطُ شعاعيًّا من الشحنةِ إلى الخارجِ في جميعِ الاتجاهات. وبما أن شحنةَ الاختبارِ الموجبةَ الواقعةَ في هذا المجالِ تتنافرُ مع الشحنةِ الموجبةِ q، فإن الخطوطَ تتَّجهُ بعيدًا عن الشحنةِ الموجبةِ وامتدادًا إلى اللانهاية. وبشكلٍ مشابهٍ، تبدأ خطوطُ المجالِ الكهربائيِّ لشحنةٍ نقطيةٍ سالبة، من اللانهاية وتتَّجهُ شعاعيًّا إلى الداخلِ في اتجاهِ الشحنة، كما يظهرُ في **الشكل 14-6** (ب). لاحظْ كيف تتقاربُ الخطوطُ كلَّما اقتربَتْ من الشحنة، وهذا يدلُّ على ازديادٍ في شدَّةِ المجال. يتطابقُ ذلك مع معادلةِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ وهي تتناسبُ عكسيًّا مع مربَّعِ المسافة. يُظهرُ **الشكل 14-6** (ج) بذورَ أعشابٍ في سائلٍ عازل. عند وضعِ موصِّلٍ مشحونٍ صغيرٍ في المركز، تترتَّبُ هذه البذورُ مع المجالِ الكهربائيِّ الذي أحدثَهُ الجسمُ المشحون.

يلخِّصُ **الجدولُ 4-6** القواعدَ المتَّبعةَ لرسمِ خطوطِ المجالِ الكهربائي. لاحظْ أنه لا يمكنُ لخطَّي المجالِ نفسِهِ أن يتقاطعا. والسببُ هو أن المجالَ الكهربائيَّ عند أيِّ نقطةٍ في الفضاءِ يشيرُ في اتجاهٍ واحد، وأيُّ خطِّ مجالٍ عند تلك النقطةِ يجبُ أيضًا أن يشيرَ في ذلك الاتجاه.





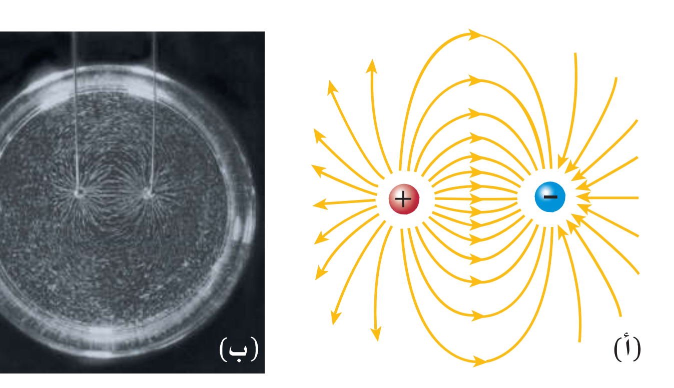
الشكل 14-6

يظهرُ الشكلان (أ) و(ب) بعضَ خطوطِ المجالِ الكهربائي لشحنةٍ نقطيةٍ موجبةٍ وأخرى سالبة. في (ج) تترتَّبُ بذورُ الأعشابِ بوساطةِ مجالٍ مشابهٍ بتأثيرِ من جسمٍ مشحون.

الجدول 4-6 قواعدُ رسمِ خطوطِ المجالِ الكهربائي
يجبُ أن تبدأ الخطوطُ من الشحناتِ الموجبةِ أو اللانهائيةِ وتنتهي على الشحناتِ السالبةِ أو اللانهائية.
يكونُ عددُ الخطوطِ المرسومةِ المنطلقةِ من الشحنةِ الموجبةِ أو الواصلةِ إلى الشحنةِ السالبةِ متناسبًا مع مقدارِ الشحنة.
لا يمكنُ لخطَّي المجالِ نفسِهِ أن يتقاطعا.

الشكل 15-6

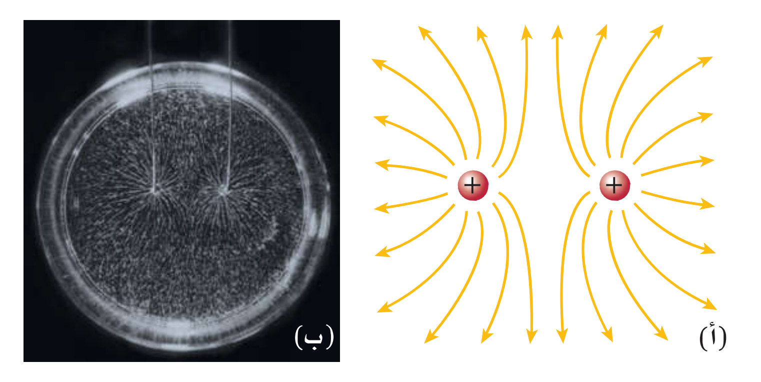
(أ) يوضِّحُ هذا الشكلُ خطوطَ المجالِ الكهربائي لشحنتَيْنِ نقطيتَيْنِ متساويتَيْنِ ومختلفتَيْنِ. لاحظْ أنّ عددَ الخطوطِ المغادرةِ للشحنةِ الموجبةِ يساوي عددَ الخطوطِ الواصلةِ إلى الشحنةِ السالبة.
(ب) تظهرُ في هذه الصورةِ بذورُ الأعشابِ في سائلٍ عازلٍ وقد ترتّبتْ مع مجالٍ كهربائيٍّ شبيهٍ بما أحدثَهُ موصِّلانِ مشحونانِ بشحنتَيْنِ مختلفتَيْنِ.



يظهرُ **الشكل 15-6** خطوطَ المجالِ الكهربائي لشحنتَيْنِ نقطيتَيْنِ متساويتَيْنِ في المقدارِ ومتعاكستَيْنِ في الإشارة. يسمّى هذا الشكلُ الشحنيُّ ثنائيَّ *القطبِ الكهربائي*. في هذه الحالةِ يجبُ أن يكونَ عددُ الخطوطِ المنطلقةِ من الشحنةِ الموجبةِ مساويًا لعددِ الخطوطِ الواصلةِ إلى الشحنةِ السالبة. وتكونُ هذه الخطوطُ تقريبًا شعاعيةَ الاتجاهِ على نقاطٍ قريبةٍ جدًّا من الشحنات. تدلُّ الكثافةُ العاليةُ للخطوطِ بين الشحنتَيْنِ على وجودِ مجالٍ كهربائيٍّ قويٍّ في هذه المنطقة.

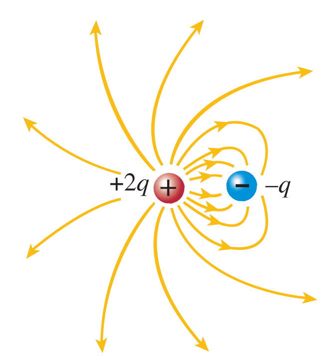
الشكل 16-6

(أ) يوضِّحُ الشكلُ خطوطَ المجالِ الكهربائيِّ لشحنتَيْنِ نقطيتَيْنِ موجبتَيْنِ. (ب) تعرضُ الصورةُ حالةً مماثلةً لبذورِ أعشابٍ في سائلٍ عازلٍ حول موصِّلَيْنِ يحملانِ الشحنةَ نفسَها.



يُظهرُ **الشكل 16-6** خطوطَ المجالِ الكهربائيِّ بالقربِ من شحنتَيْنِ نقطيتَيْنِ موجبتَيْنِ ومتساويتَيْن. ومرَّةً ثانيةً فالخطوطُ القريبةُ جدًّا لكلِّ شحنةٍ تكونُ شعاعيةَ الاتجاهِ تقريبًا. ينطلقُ من كلِّ شحنةٍ العددُ نفسُهُ من الخطوط، لأنّ الشحنتَيْنِ متساويتانِ في المقدار. ويمكنُ بشكلٍ تقريبيٍّ اعتبارُ المجالِ المستحدَثِ على مواقعَ بعيدةٍ عن الشحناتِ مساويًا لمجالِ شحنةٍ منفردةٍ مقدارُها $2q$.

أخيرًا يُظهرُ **الشكلُ 17-6** مخطَّطًا لخطوطِ المجالِ الكهربائيِّ المرتبطِ بشحنةٍ موجبة $+2q$ وشحنةٍ سالبة $-q$. يتبيَّنُ في هذه الحالةِ أن عددَ الخطوطِ المنطلقةِ من $+2q$ يساوي مثلَيْ عددِ الخطوطِ المنتهيةِ عند $-q$. لذلك ينتهي نصفُ عددِ الخطوطِ المنطلقةِ من الشحنةِ الموجبةِ عند الشحنةِ السالبة. لكن حين تكونُ المسافاتُ كبيرةً قياسًا على المسافةِ الفاصلةِ بين الشحنتين، يصبحُ مخطَّطُ المجالِ الكهربائيِّ مطابقًا لمجالِ شحنةٍ منفردة $+q$.



الشكل 17-6

في هذه الحالة، إن نصفَ عددِ الخطوطِ المنطلقةِ من الشحنةِ الموجبةِ ينتهي على الشحنةِ السالبة، لأن مقدارَ الشحنةِ الموجبةِ يساوي مثلَيْ مقدارِ الشحنةِ السالبة.

موصِّلاتٌ في حالةِ اتِّزانٍ إلكتروستاتيكي

إن موصِّلاً كهربائيًّا جيدًا، كالنحاس، يحتوي على شحناتٍ (إلكتروناتٍ) لها حريةُ التحرُّكِ داخلَ المادَّةِ ولا تكونُ مقيَّدةً بالذرَّة. يكونُ الموصِّلُ في حالةِ *اتِّزانٍ إلكتروستاتيكيٍّ* عند انعدامِ حدوثِ حركةٍ محصّلةٍ للشحنةِ داخلَه. سنرى لاحقًا أن للموصِّلِ المعزولِ الذي في حالةِ اتِّزانٍ إلكتروستاتيكيٍّ خصائصَ أربعًا، هي الواردةُ في **الجدول 6-5** التالي:

الجدول 6-5 **موصِّلاتٌ في حالةِ اتزانٍ إلكتروستاتيكي**
المجالُ الكهربائيُّ صفرٌ في كلِّ مكانٍ داخل الموصِّل.
أيُّ شحنةٍ زائدةٍ على الموصِّلِ المعزولِ تكمُنُ كليًّا على السطحِ الخارجيِّ للموصِّل.
المجالُ الكهربائيُّ خارجَ الموصِّلِ مباشرةً يكونُ متعامدًا مع سطحِ الموصِّل.
الشحنةُ على موصِّلٍ متعرِّجِ الشكلِ تميلُ للتراكمِ حيثُ نصفُ قطرِ تكوُّرِ السطحِ أقلّ، أي في النقاطِ الحادة.

يمكنُ فهمُ الخاصَّةِ الأولى من خلالِ اختبارِ ما قد يحدثُ إذا افترضْنا أنها غيرُ صحيحة. إذا توفَّر المجالُ الكهربائيُّ داخل الموصِّلِ تتحرَّكُ الشحناتُ الحرَّةُ فيؤدّي تحرُّكُها إلى انسيابٍ للشحنةِ أو تيار. لكنَّ الموصِّلَ، وفي حالِ وجودِ حركةٍ محصَّلةٍ للشحنة، لا يعودُ في حالةِ اتزانٍ إلكتروستاتيكي.

وفي الحقيقة، إن أيَّ شحنةٍ زائدةٍ كامنةٍ على السطحِ الخارجيِّ للموصِّلِ هي نتيجةٌ مباشرةٌ للتنافرِ بين الشحناتِ المتشابهة، وهو ما عَبَّرَ عنه قانونُ كولومب. إذا وُضِعتِ الشحنةُ الزائدةُ داخل الموصِّلِ فإن قوى التنافرِ الناشئةَ بين الشحناتِ تدفعُها إلى أبعدِ حدٍّ ممكن، ما يجعلُها تنتقلُ سريعًا إلى السطح.

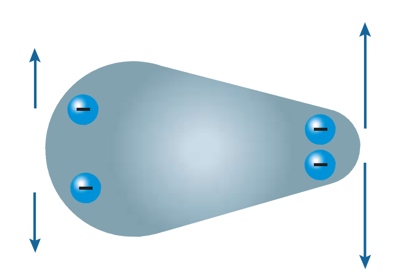
يمكنُ فهمُ الخاصَّةِ الثالثةِ «المجالُ الكهربائيُّ خارجَ الموصِّلِ مباشرةً يكونُ متعامدًا مع سطحِ الموصّل» إذا افترضْنا أنَّها غيرُ صحيحةٍ وإذا كانَ المجالُ الكهربائيُّ غيرَ متعامدٍ مع السطح، يكونُ للمجالِ مركَّبةٌ على امتدادِ السطح. وهذا يدفعُ الشحناتِ السالبةَ داخل الموصِّلِ إلى التحرُّكِ على سطحِه. لكنَّ تحرُّكَ الشحناتِ يُحدِثُ تيّارًا يشكِّلُ حالةَ عدمِ اتزانٍ إلكتروستاتيكي. لذلك، يجبُ أن تكونَ $\vec{E}$ متعامدةً مع السطح.

لتفسيرِ ميلِ الشحناتِ إلى التراكمِ على النقاطِ الحادَّة، نأخذُ موصِّلاً مسطحًا نوعًا ما عند أحدِ طرفَيْه وحادًّا نسبيًّا عند الطرفِ الآخر.

أيُّ شحنةٍ زائدةٍ توضعُ على جسمٍ معيَّنٍ تتحرَّكُ مباشرةً إلى سطحِه. يُظهِرُ **الشكل 6-18** القوى بين شحنتَيْنِ على كلٍّ من طرفَيْ ذلك الجسم. على الطرفِ المسطَّحِ تتَّجهُ هذه القوى غالبًا بشكلٍ موازٍ للسطح. لذلك تتباعدُ الشحنتانِ إلى أن يدفعَهما التنافرُ مع شحناتٍ أخرى مجاورةٍ إلى حالةِ اتِّزان.

من جهةٍ أخرى غالبًا ما تتَّخذُ قوى التنافرِ بين الشحنتَيْنِ على الطرفِ الحادِّ اتجاهًا متعامدًا مع السطح. نتيجةً لذلك يكونُ لهاتَيْنِ الشحنتَيْنِ ميلٌ أقلُّ إلى التباعدِ بينهما على طولِ السطح، وتكونُ كمِّيَّةُ الشحنةِ في وحدةِ مساحةٍ أكبرَ ممّا هي على الطرفِ المسطَّح.

هذا التأثيرُ المتراكمُ للكثيرِ من تلك القوى الخارجيةِ بسببِ الشحناتِ المجاورةِ على الطرفِ الحادّ، يُحدِثُ مجالاً كهربائيًّا يتَّجهُ بعيدًا عن السطح.



الشكل 6-18
عندما يكونُ أحدُ طرفَي الموصِّلِ حادًّا أكثرَ من الطرفِ الآخر، تميلُ الشحنةُ الزائدةُ إلى التراكمِ على هذا الطرفِ الحادِّ محدثةً كمِّيةً أكبرَ من الشحنةِ في وحدةِ مساحة، وبالتالي قوَّةَ تنافرٍ كهربائيةً أكبرَ بين الشحناتِ في هذا الطرف.

الفيزياءُ والحياة

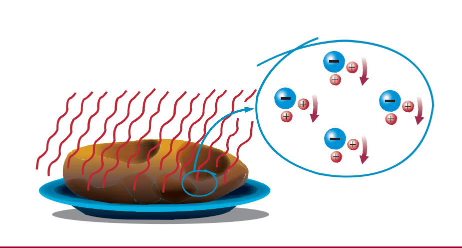
فرنُ المايكرويف

من النادرِ أن تجدَ منزلاً لا يستعملُ فرن المايكرويف. فالمطاعمُ والمنازلُ والمحالُّ التجاريةُ جميعُها تستعملُ هذا الاختراعَ المدهشَ الذي يسخِّنُ الأجزاءَ الليِّنةَ وحدَها من الطعامِ ويُبقي الموادَّ اللاعضويةَ والصلبةَ كالسيراميك والعظامِ على درجةِ حرارتِها تقريبًا. إنها بالفعل خدمةٌ نظيفة، ولكن كيف يحدثُ ذلك؟

تستفيدُ أفرانُ المايكرويف من ميزةِ الثنائيةِ القطبيةِ التي تميزُ جزيئاتِ الماء، إذ لكلِّ جزيءٍ طرفٌ سالبٌ وطرفٌ موجب. يعني ذلك أن أكثريةَ الإلكتروناتِ موجودةٌ في طرفٍ من طرفَي الجزيء. إن موجاتِ المايكرويف جزءٌ من أشعَّةٍ كهرومغناطيسية، وذاتُ تردّدٍ عالٍ نسبيًّا يجعلُها تُحدِثُ مجالاً كهربائيًّا يغيِّرُ من الثنائيةِ القطبيةِ ملياراتِ المراتِ في الثانية. عند مرورِ المجالِ الكهربائيِّ في جزيءٍ ثنائيِّ القطب يتعرَّضُ الجانبُ الموجبُ من الجسيمِ لقوَّةٍ في اتجاهٍ معيَّن، بينما يُجذبُ الجانبُ السالبُ أو يُدفعُ في الاتجاهِ الآخر. يُحدِثُ تغيُّرُ المجالِ على قطبيةِ الجزيءِ انعكاسًا في اتجاهِ القوى. وبدلَ أن تتفكَّكَ الجزيئاتُ تتمايلُ ثم تترتَّبُ مع المجالِ الكهربائي. ينتجُ عن هذا التمايلِ والتأرجحِ احتكاكُ الجزيئاتِ بعضُها ببعض، فيولِّدُ الاحتكاكُ طاقةً داخليةً في الطعامِ تزدادُ بازديادِه. فالطاقةُ في المايكرويف تنتقلُ إذن إلى الطعامِ بوساطةِ الأشعة، مقارنةً بالنقلِ التوصيليِّ الحاصلِ في الأفرانِ التقليدية.

تبعًا لقوَّةِ فرنِ المايكرويفِ المستعملِ تستطيعُ هذه الحركةُ الدائريةُ للجزيئاتِ توليدَ حوالي 3 J من الطاقةِ الداخليةِ في الثانيةِ في 1 g من الماء. وضمنَ هذا المعدَّلِ يستطيعُ فرنُ المايكرويف تسخينَ كوبٍ من الماءِ (250 mL) حتى درجةِ الغليانِ خلالَ دقيقتَيْن، مستعملاً لذلك حواليَ 0.033 kW•h من الطاقةِ الكهربائية.

علمًا أن العظامَ والأطباقَ الجافَّةَ والهواءَ جميعَها داخلَ الفرنِ لا تتأثَّرُ بفعلِ المجالِ الكهربائيِّ المتقلِّب، لأنها ليستْ ثنائيةَ القطبين. بالتالي فالطاقةُ التي يوفِّرُها عدمُ تسخينِ هذه الأصنافِ من الموادِّ تجعلُ الطهوَ أسرعَ وأكثرَ فاعلية.



مراجعةُ القسم 6-3

1. جدِ المجالَ الكهربائيَّ عند نقطةٍ في منتصفِ المسافةِ الفاصلةِ بين شحنتَيْن $+40.0 \times 10^{-9}$ C و $+60.0 \times 10^{-9}$ C، وهي 30.0 cm.

2. شحنتانِ تفصلُهما مسافةٌ قصيرة، وتبلغُ الأولى أربعةَ أمثالِ الثانية. ارسُمْ مخطَّطًا لخطوطِ المجالِ الكهربائيِّ لهاتَيْنِ الشحنتَيْن:

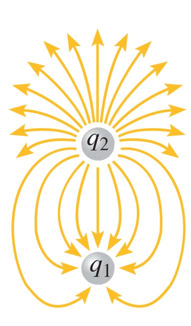
أ. إذا كانت كلتاهما موجبتَيْن.

ب. إذا كانت كلتاهما سالبتَيْن.

3. تفسيرُ بيانات يُظهرُ الشكلُ **19-6** خطوطَ المجالِ الكهربائيِّ لشحنتَيْنِ تفصلُهما مسافةٌ صغيرة.

أ. جدِ النسبةَ q_1/q_2

ب. ما إشارةُ q_1 و q_2؟



الشكل 19-6

4. تفكيرٌ ناقد من الأسهلِ أن تحصُلَ على صدمةٍ إلكتروستاتيكيةٍ عند لمسِكَ جسمًا موصِّلاً بإصبعِك بدلاً من كاملِ يدِك. اشرحِ السبب.

ملخّصُ الفصل 6

أفكارٌ أساسية

القسمُ 1-6 الشحنةُ الكهربائية

- يوجدُ نوعانِ من الشحناتِ الكهربائية، يتنافرُ المتشابهان ويتجاذبُ المتعاكسان.
- الشحنةُ الكهربائيةُ محفوظة.
- الوحدةُ الأساسيةُ، e، للشحنةِ هي شحنةُ إلكترونٍ واحدٍ أو بروتونٍ واحد.
- الموصِّلاتُ والعوازلُ يمكنُ شحنُهما بالتماسّ. الموصلاتُ يمكنُ شحنُها بالحثّ. يمكنُ شحنُ سطحِ العازلِ بالاستقطاب.

القسمُ 2-6 القوّةُ الكهربائية

- تبعًا لقانونِ كولومب، تكونُ القوةُ الكهربائيةُ بين شحنتَيْنِ متناسبةً طرديًّا مع مقدارِ الشحنتَيْنِ ومتناسبةً عكسيًّا مع مربَّعِ المسافةِ بينهما.

$$F_{\text{الكهربائية}} = k_C \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

- القوةُ الكهربائيةُ قوّةٌ مجالية.
- القوةُ الكهربائيةُ المحصَّلةُ على أيِّ شحنةٍ تساوي الجمعَ الاتجاهيَّ للقوى الكهربائيةِ الإفراديةِ على تلك الشحنة.

القسمُ 3-6 المجالُ الكهربائي

- ينشأُ المجالُ الكهربائيُّ في النطاقِ المحيطِ بالجسمِ المشحون.
- تعتمدُ شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ على مقدارِ الشحنةِ المحدِثةِ للمجال، وعلى المسافةِ بينها وبين نقطةٍ في المجال.

$$E = \frac{F_{\text{الكهربائية}}}{q_0} = \frac{k_C q}{r^2}$$

- يكونُ اتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ، $\vec{E}$ ، الاتجاهَ الذي تؤثِّرُ فيه قوّةٌ كهربائيّةٌ على شحنةٍ اختباريةٍ موجبة.
- خطوطُ المجالِ متماسّةٌ مع متّجَهِ المجالِ الكهربائيِّ على أيِّ نقطة، وعددُها متناسبٌ مع شدَّةِ المجال.

مصطلحاتٌ أساسية

الموصِّل Conductor (ص 177)

العازل Insulator (ص 177)

الحثّ Induction (ص 178)

المجالُ الكهربائي Electric field (ص 189)

خطوطُ المجالِ الكهربائي Electric field lines (ص **193**)

مخطط الرموز

الشحنةُ الموجبة	$+q$
الشحنةُ السالبة	$-q$
متجهُ المجالِ الكهربائي	$\vec{E}$
خطوطُ المجالِ الكهربائي	

رموزُ المتغيِّراتِ

الكمّية		الوحدة		الكمّيات
$F_{\text{الكهربائية}}$	القوّةُ الكهربائية	N	نيوتن	$1\ N = 1\ kg{\cdot}m/s^2$
q	الشحنة	C	كولومب (وحدةُ الشحنةِ في نظام SI)	$1\ C = 6.3 \times 10^{18}\ e$
		e	الوحدةُ الأساسيةُ للشحنة	$1\ e = 1.60 \times 10^{-19}\ C$
k_C	ثابتُ كولومب	$N{\cdot}\frac{m^2}{C^2}$		$8.99 \times 10^9\ N{\cdot}\frac{m^2}{C^2}$
E	شدَّةُ المجالِ الكهربائي	N/C		



مراجعةُ الفصل 6

راجعْ وقيِّمْ

الشحنةُ الكهربائية

أسئلةُ مراجعة

1. بمَ تختلفُ الموصِّلاتُ عن العوازلِ؟
2. عندما يُشحَنُ موصِّلٌ بوساطةِ الحثّ، هل تكونُ الشحنةُ السطحيةُ المستحثَّةُ على الموصِّلِ هي نفسَها أو عكسَ شحنةِ الجسمِ المُحثّ للشحنةِ السطحية؟
3. بالونٌ مشحونٌ بشحنةٍ سالبةٍ تساوي 3.5 μC. ما عددُ الإلكتروناتِ الزائدةِ التي يحملُها؟

أسئلةٌ حول المفاهيم

4. هل تكونُ الحياةُ مختلفةً لو كان الإلكترونُ شحنةً موجبةً والبروتونُ شحنةً سالبةً؟ اشرحْ.
5. اشرحْ من منظورٍ ذرّيٍّ لماذا يتمُّ نقلُ الشحنةِ بوساطةِ الإلكترونات.
6. يعتبرُ الهواءُ في صيفٍ دوكان رطبًا، فيكونُ موصِّلاً أفضلَ منه في الشتاء. هل تتوقَّعُ أن تكونَ الصدماتُ الكهربائيةُ الإلكتروستاتيكية أشدَّ وقعًا في الصيفِ منها في الشتاء؟ اشرحْ.
7. تُرِكَ بالونٌ بعد شحنِهِ بوساطةِ الدَّلْكِ واكتسابِهِ شحنةً سالبةً، وانجذبَ إلى جدار. هل يعني ذلك أن شحنةَ الجدارِ موجبة؟
8. أيهما يُعتبَرُ برهانًا دامغًا على شحنِ جسم: التجاذبُ أم التنافرُ مع جسمٍ آخر؟ اشرحْ.

القوَّةُ الكهربائية

أسئلةُ مراجعة

9. ما الذي يحدِّدُ اتجاهَ القوَّةِ الكهربائيةِ بين شحنتيْنِ؟
10. في أيِّ اتجاهٍ يكونُ تأثيرُ القوَّةِ الكهربائيةِ في الشحنةِ السالبة، في **الشكل 6-20**، نتيجةً لجذبِ الشحنتيْنِ الموجبتيْنِ المتساويتيْنِ لها؟

q ⊕
⊖ $-q$
q ⊕

الشكل 6-20

11. تُعتبَرُ قوَّةُ الجاذبيةِ قوَّةَ تجاذبٍ دائمًا، بينما قد تكونُ القوَّةُ الكهربائيةُ قوَّةَ تجاذبٍ أو تنافر. كيف تفسِّرُ هذا الفرق؟
12. عند وجودِ أكثرِ من جسمٍ مشحونٍ واحدٍ في مساحةٍ معيَّنة، كيف يتمُّ حسابُ القوَّةِ الكهربائيةِ الكلّيةِ على أحدِ هذه الأجسامِ المشحونة؟
13. عيِّنْ أمثلةً على قوًى كهربائيةٍ في حياتِنا اليومية.

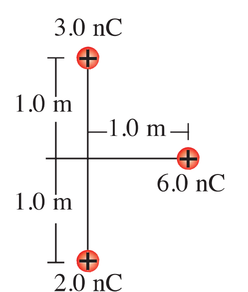
أسئلةٌ حول المفاهيم

14. تبعًا للقانونِ الثالثِ لنيوتن، لكلِّ فعلٍ ردُّ فعلٍ يساويهِ في المقدارِ ويعاكسُهُ في الاتجاه. عند شحنِ مشطٍ ووضعِهِ بالقربِ من قِطَعِ ورقٍ صغيرة، يطبِّقُ المشطُ قوَّةً كهربائيةً على قِطَعِ الورق، فيشدُّها في اتجاهِه. لماذا لا نرى المشطَ يتحرَّكُ في اتجاهِ قِطَعِ الورقِ كذلك؟

مسائلُ تطبيقية

15. في لحظةِ الانشطارِ النووي، تنقسمُ نواةُ اليورانيوم ^{235}U التي تحتوي على 92 بروتونًا إلى جزءَيْنِ كرويَّيْنِ يتناصفان عددَ البروتوناتِ ونصفُ قطرِ كلٍّ منهما 5.9×10^{-15} m. ما قوَّةُ التنافرِ بينهما؟
16. ما القوَّةُ الكهربائيةُ بين كرةٍ زجاجيةٍ تحملُ شحنةً +2.5 μC وكرةٍ مطّاطيةٍ تحملُ شحنةً −5.0 μC وبينهما مسافةُ 5.0 cm؟
17. أُطلقَ جسيمُ α $(q = +2.0\ e)$ بسرعةٍ عاليةٍ في اتجاهِ ذرَّةِ ذهب $(q = +79\ e)$. ما القوَّةُ الكهربائيةُ المؤثِّرةُ في الجسيمِ α عند تواجدِهِ على مسافةِ 2.0×10^{-14} m من نواةِ ذرَّةِ الذهب؟

18. يُظهِرُ **الشكلُ 6-21** مثلَّثًا من ثلاثِ شحناتٍ نقطيةٍ موجبة 3.0 nC و 6.0 nC و 2.0 nC. جِدْ مقدارَ واتجاهَ القوَّةِ الكهربائيةِ المؤثِّرةِ في الشحنةِ 6.0 nC.



الشكل 6-21

19. شحنتان موجبتان، كلٌّ منهما 2.5×10^{-9} C، تقعان عند $y = +0.50$ m و $y = -0.50$ m. جِدْ مقدارَ واتجاهَ القوَّةِ الكهربائيةِ المحصَّلةِ المؤثِّرةِ في الشحنةِ 3.0×10^{-9} C الواقعةِ عند $x = 0.70$ m.

20. شحنتان تقعانِ على محورِ y على النحوِ التالي: $q_1 = -9.0\ \mu C$ على $y = 6.0$ m، $q_2 = -8.0\ \mu C$ على $y = -4.0$ m. أين تقعُ شحنةٌ ثالثةٌ على محورِ y بحيث تكونُ القوَّةُ الكهربائيةُ المحصَّلةُ عليها صفرًا؟

21. تتباعدُ الشحنتانِ +3.5 nC و +5.0 nC مسافة 40.0 cm بعضُهما عن بعض. جِدْ موقعَ الاتِّزانِ للشحنة ‎–6.0 nC.

المجالُ الكهربائي

أسئلةُ مراجعة

22. ما المجالُ الكهربائي؟

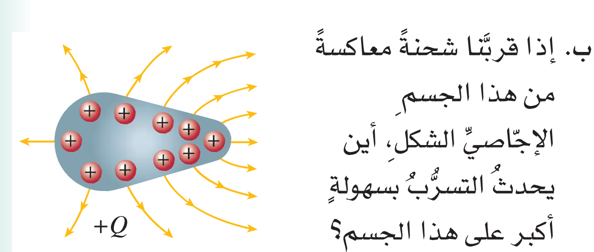
23. أوضحْ بالبرهانِ التطابقَ بين تعريفِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ ($E = F_{\text{الكهربائية}}/q_1$) وتعريفِ المعادلة $E = k_C q/r^2$ في حالةِ الشحناتِ النقطية.

24. في حالةِ الموصِّلِ ذي الشكلِ المتعرِّج، تتشكَّلُ هالةٌ حولَ الطرفِ الحادِّ بأسرعَ مما تتشكَّلُ حولَ الطرفِ الأقلِّ حِدَّة. اشرحِ السبب.

25. ارسمْ بعضَ الخطوطِ التمثيليةِ للمجالِ الكهربائيِّ لشحنتَيْنِ $+q$ و $-3q$ تفصِلُ بينهما مسافةٌ قصيرة.

26. عند رسمِ خطوطِ المجالِ الكهربائيِّ، ما الذي يحدِّدُ عددَ الخطوطِ التي تبدأُ من الشحنة؟ ما الذي يحدِّدُ ما إذا كانت هذه الخطوطُ تبدأُ من الشحنةِ أم تنتهي عندها؟

27. انظرْ إلى خطوطِ المجالِ الكهربائيِّ الظاهرةِ في **الشكل 6-22**.
أ. أين تكونُ شحنةُ الكثافةِ الأعلى؟ الشحنةُ الأقلّ؟
ب. إذا قرَّبنا شحنةً معاكسةً من هذا الجسمِ الإجّاصيِّ الشكل، أين يحدثُ التسرُّبُ بسهولةٍ أكبر على هذا الجسم؟



الشكل 6-22

28. هل يوجدُ في الواقعِ خطوطُ مجالٍ كهربائي؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

29. عندما نعرِّفُ المجالَ الكهربائيّ، لماذا يجبُ اعتبارُ مقدارِ الشحنةِ الاختباريةِ صغيرًا جدًّا؟

30. لماذا لا يتقاطعُ لدى المجالِ نفسِهِ خطَّانِ مجاليَّان؟

31. وُضِع إلكترونٌ وبروتونٌ في مجالَيْنِ كهربائيَّيْنِ متماثلَيْن. قارنْ بين القوَّتَيْنِ الكهربائيتَيْنِ عليهما، قارنْ بين تعجيلَيْهما أيضًا.

مسائلُ تطبيقية

32. جِدْ شدَّةَ المجالِ الكهربائيِّ عند نقطةٍ في منتصفِ المسافةِ بين الشحنتَيْنِ $+3.00 \times 10^{-9}$ C و $+60.0 \times 10^{-9}$ C اللتَيْنِ تفصلُ بينهما مسافةُ 30.0 cm.

33. شحنتان $+5.7\ \mu C$ و $+2.0\ \mu C$ تقعانِ تباعًا عند $x = -3.0$ m و $x = +1.0$ m على محورِ x. جِدْ شدَّةَ المجالِ الكهربائيِّ المحصِّلةَ (مقدارًا واتجاهًا) عند النقطة $y = +2.0$ m على محورِ y.

مراجعةٌ عامة

34. احسبِ الشحنةَ المحصَّلةَ التي تحملُها مادَّةٌ تتألَّفُ من خليطٍ يحتوي على 7.0×10^{13} بروتون و 4.0×10^{13} إلكترون.

35. يتحرَّكُ إلكترونٌ داخلَ مجالٍ كهربائيٍّ بتعجيلٍ مقدارُه 6.3×10^{3} m/s².
أ. جدِ القوَّةَ الكهربائيةَ المؤثِّرةَ في الإلكترون.
ب. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائي؟

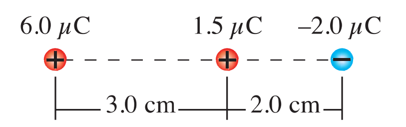
36. يحتوي غرامٌ واحدٌ من النحاسِ على 9.48×10^{21} ذرَّة، وداخل كلِّ ذرَّةٍ يوجدُ 29 إلكترونًا.
أ. ما عددُ الإلكتروناتِ في 1.00 g من النحاس؟

ب. ما الشحنةُ الكلّيةُ لهذه الإلكترونات.

37. يُظهِرُ **الشكلُ 6-23** ثلاثَ شحناتٍ مختلفة.

أ. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ عند النقطةِ 1.0 cm إلى يسارِ الشحنةِ الوسطى؟

ب. ما مقدارُ القوَّةِ الكهربائيةِ على شحنةِ $-2.0\ \mu C$ موضوعةٍ عند النقطةِ في الفرع (أ)؟

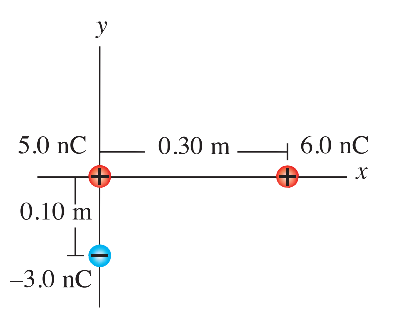


الشكل 6-23

38. تشكِّلُ الشحناتُ في **الشكل 6-24** مثلَّثًا.

أ. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ المحصَّلةِ على موقعٍ في نقطةِ الأصل؟

ب. ما القوَّةُ الكهربائيةُ المحصَّلةُ على الشحنةِ في نقطةِ الأصل؟



الشكل 6-24

39. ارسمْ مخطَّطًا للمجالِ الكهربائيِّ الذي تُحدثُهُ كرةٌ موصِّلةٌ جوفاءُ تحملُ شحنةً موجبة. وليتضمَّنْ مخطَّطُكَ النطاقَيْنِ الداخليَّ والخارجيَّ للكرة.

40. القمر ($m = 7.36 \times 10^{22}$ kg) مقيَّدٌ في فلكِهِ بالأرضِ ($m = 5.98 \times 10^{24}$ kg) بسببِ الجاذبية. لنفرضْ أن تجاذبَهما ليسَ بسببِ الجاذبية، بل لأنهما يحملان شحنتَيْنِ متعاكستَيْنِ، لكن متساويتينِ في المقدار. ما مقدارُ شحنةِ كلٍّ منهما لكي يحدثا تلك القوة؟

41. كرتانِ معدنيَّتانِ صغيرتان، كتلةُ كلٍّ منهما 0.20 g، تتدلَّيانِ كالبندولِ من النقطةِ نفسِها بوساطةِ خيطٍ خفيف. شُحِنتا كهربائيًّا بالتساوي، فأصبحتا في حالةِ اتِّزانٍ بعد أن مالَ كلُّ خيطٍ بزاويةِ 5.0° مع الرأسي. ما مقدارُ شحنةِ كلٍّ منهما إذا كانَ طولُ الخيطِ 30.0 cm؟

42. ما شدَّةُ واتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ الذي يجعلُ الإلكترونَ متَّزنًا؟ وما شدَّةُ واتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ الذي يجعلُ البروتون متَّزنًا؟

43. إلكترونٌ وبروتونٌ وُضِعا في حالةِ سكونٍ داخل مجالٍ كهربائيٍّ خارجيٍّ، مقدارُهُ 520 N/C. احسُبْ مقدارَ سرعةِ كلٍّ منهما بعد 48 ns.

44. تمَّ شحنُ كرةٍ موصِّلةٍ إلى أن اكتسبَتْ مجالاً شدَّتُهُ 3.0×10^4 N/C.

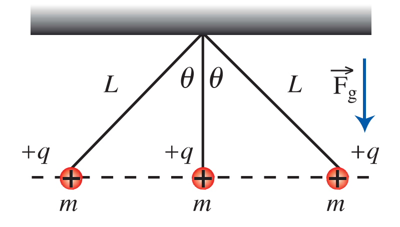
أ. ما القوَّةُ الكهربائيةُ المؤثِّرةُ في بروتونٍ أفلتَ على سطحِ الكرة؟

ب. احسبْ تعجيلَ البروتون في تلك اللحظة.

45. يمكنُ للعواصفِ الرعديةِ إحداثُ مجالٍ كهربائيٍّ يصلُ مقدارُه إلى 3.4×10^5 N/C. ما مقدارُ القوَّةِ الكهربائيةِ المؤثِّرةِ في إلكترونٍ داخل المجال؟

46. يطفو جسمٌ يحملُ شحنة $24\ \mu C$ داخلَ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُه 610 N/C في اتجاهٍ رأسيّ. ما كتلةُ الجسم؟

47. يظهرُ في **الشكل 6-25** ثلاثُ شحناتٍ نقطيةٍ متشابهة، كتلةُ كلٍّ منها $m = 0.10$ kg، وهي معلَّقةٌ بخيوطٍ ثلاثة. إذا كانت $L = 30.0$ cm و $\theta = 45^\circ$ فكم تكونُ قيمةُ q؟



الشكل 6-25

48. في تجربةٍ مختبريةٍ وُضِعَتْ خمسُ شحناتٍ نقطيةٍ سالبةٍ ومتساوية بشكلٍ تماثليٍّ حولَ محيطِ دائرةٍ نصفُ قطرِها r. احسبْ مقدارَ المجالِ الكهربائيِّ عند مركزِ الدائرة.

49. ينطلقُ إلكترونٌ وبروتونٌ من السكونِ من النقطةِ نفسِها داخل مجالٍ كهربائيٍّ شدَّتُهُ 370.0 N/C. بعد إفلاتِهما، كم تصبحُ المسافةُ بينهما بعد $1.00\ \mu s$؟ (أغفِلْ قوةَ التجاذبِ الكتليِّ بينهما، وتصوَّرْ أن التجربةَ قد أُجريَتْ على البروتون وحدَه، ثم أُعيدَتْ على الإلكترون وحدَه.)

50. تسارعَ إلكترونٌ بوساطةِ مجالٍ كهربائيٍّ ثابتٍ شدَّتُهُ 300.0 N/C.

أ. جدْ تعجيلَ الإلكترون،

ب. جدْ مقدارَ سرعةِ الإلكترون بعد 1.00×10^{-8} s مفترضًا أن انطلاقَهُ من السكون.

51. عند زيادةِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ حتى حواليَ 3.0×10^{6} N/C يتحلَّلُ الهواءُ ويفقدُ عازليته، ويؤدّي ذلك إلى إحداثِ شَرَرٍ.

أ. بأيِّ تعجيلٍ يتسارعُ إلكترونٌ عند وضعِهِ في مثلِ هذا المجال؟

ب. إذا بدأ إلكترونٌ في الفرع (أ) بالتسارعِ من السكون، بعد أيِّ مسافةٍ يساوي مقدارُ سرعتِهِ % 10 من سرعةِ الضوءِ في ذلك المجال؟ علمًا أن سرعةَ الضوءِ في الفراغ 3×10^{8} m/s.

ج. ما التعجيلُ الذي يكتسبُه البروتونُ في هذا المجالِ الكهربائيِّ؟

52. لكلِّ بروتونٍ في حزمةِ الجسيمات طاقةٌ حركية 3.25×10^{-15} J. ما شدَّةُ واتجاهُ المجالِ الكهربائيِّ اللازمِ لإيقافِ هذه البروتوناتِ بعد مسافةِ 1.25 m؟

53. عُلِّقتْ كرةٌ بلاستيكيةٌ صغيرة، كتلتُها 2.0 g، داخل مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ بوساطةِ خيطٍ طولُهُ 20.0 cm، كما يظهرُ في **الشكل 6-26.**

الشكل 6-26

أ. هل شحنةُ الكرةِ موجبةٌ أم سالبة؟

ب. إذا كانتِ الكرةُ في حالةِ اتِّزانٍ عند ميلِ الخيطِ بزاويةِ 15° مع الرأسيِّ، فما الشحنةُ المحصَّلةُ على الكرة؟

54. مجالٌ كهربائيٌّ ثابتٌ متجهٌ على طولِ المحورِ x الموجب، ومقدارُهُ 2.0×10^{3} N/C.

أ. جدِ القوةَ الكهربائيةَ المطبَّقةَ على بروتونٍ في هذا المجال

ب. جدْ تعجيلَ البروتون.

ج. جدِ الزمنَ اللازمَ ليصلَ مقدارُ سرعةِ البروتون إلى 1.00×10^{6} m/s بدءًا من السكون.

المشاريع والتقارير

1. يستقرُّ كوبٌ معدنيٌّ على طاولةٍ خشبيةٍ بالقربِ من كرةٍ تحملُ شحنةً موجبةً وهي معلَّقةٌ بخيط. تميلُ الكرةُ في اتجاهِ الكوب، تلامسُه، ثم تبتعدُ عنه. فسِّرْ ما حدث، وهل ستلامسُ الكرةُ الكوبَ ثانية؟ وضِّحْ برسومٍ بيانيةٍ توزيعَ الشحناتِ على الكوبِ والكرةِ في كلِّ مرحلةٍ من مراحلِ تفاعلِهما. كيف تتبيَّنُ صحَّةَ توقُّعاتِك؟ تحقَّقْ من تفسيرِكَ بعد موافقةِ المعلِّم.

2. بعد اختراعِ آلةِ التصويرِ الطباعيِّ عام 1960، أكبَّ العلماءُ على تطويرِ جهازٍ عمليٍّ يعملُ على جذبِ مادَّةِ الكربونِ إلى الورقةِ باستعمالِ التفاعلِ الإلكتروستاتيكيِّ المركز. اكتبْ بحثًا حولَ كيفيةِ عملِ هذا الجهاز، واشرحْ لماذا تكونُ النسخةُ المصوَّرةُ الأخيرة، بعد مئاتٍ وآلافِ النسخ، أقلَّ وضوحًا من النسخةِ الأولى. قدِّمْ تقريرًا واستعنْ بلوحةِ عرضٍ تُظهرُ آلاتِ تصويرٍ مختلفة.

3. قمْ ببحثٍ حولَ كيفيةِ عملِ المرسِّبِ الكهربائيِّ المستعملِ لتنظيفِ الردِّ الملوَّثِ من الدخانِ وجُسيماتِ الغبارِ الصادرِ عن المصانعِ التي تعملُ على اشتعالِ الوقود. استعلِمْ كيف تَستعملُ المصانعُ في مدينتِكَ المرسِّباتِ الكهربائية. ما حسناتُها وما كلفتُها؟ ما البدائلُ المتاحةُ لهذه المشكلة؟ لخِّصْ بياناتِكَ ونتائجَكَ في تقرير.

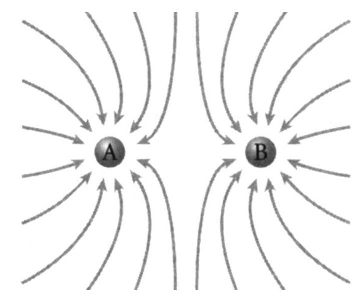
4. تسمَّى القوَّةُ الكهربائيةُ قوَّةَ كولومب أيضًا، أو تفاعلَ كولومب. قمْ ببحثٍ حولَ التطوُّرِ التاريخيِّ لمفهومِ القوَّةِ الكهربائيةِ وضمِّنْهُ أعمالَ كولومب وغيرِهِ من العلماء، أمثالِ بريستلي وكافندش وفرانكلين.

تقويمُ الفصل 6

اختيارٌ من متعدِّد

1. ما وجهُ الشبهِ بين القوَّةِ الكهربائيَّةِ وقوَّةِ الجاذبيَّة؟
أ. القوَّةُ الكهربائيَّةُ تتناسبُ مع كتلةِ الجسم.
ب. مقدارُ القوَّةِ الكهربائيَّةِ مساوٍ لمقدارِ قوَّةِ الجاذبيَّة.
ج. القوَّةُ الكهربائيَّةُ قوَّةُ تجاذبٍ أو تنافر.
د. ينقصُ مقدارُ القوَّةِ الكهربائيَّةِ كلّما كبرَتِ المسافةُ بين الشحنتَيْن.

2. ماذا يجب أن تكونَ إشارةُ الشحنتَيْن A و B أدناه بحيثُ تكونُ خطوطُ المجالِ الكهربائيِّ الناتجِ عنهما كما هو موضّح.



أ. A و B موجبتان.
ب. A و B سالبتان.
ج. A سالبة و B موجبة.
د. A موجبة و B سالبة.

3. أيٌّ من الأنشطةِ التالية لا يعطي النتيجةَ نفسها التي تعطيها الأنشطة الثلاثة الأخرى؟
أ. الانزلاقُ على مقعدِ سيّارةٍ بلاستيكيّ.
ب. السيرُ على سجّادةٍ من الصوف.
ج. سكبُ الطعامِ من قصعةٍ معدنيَّةٍ باستعمالِ ملعقةٍ معدنيَّة.
د. تسريحُ الشعرِ الجافِ بمشطٍ بلاستيكيّ.

4. كَمْ ضعفًا تزدادُ القوَّةُ الكهربائيَّةُ بين شحنتَيْن إذا تضاعفَتِ المسافةُ بينهما؟
أ. 4 ج. 1/2
ب. 2 د. 1/4

استعملِ النصَّ التالي للإجابةِ عن السؤالَيْن 5 و 6.

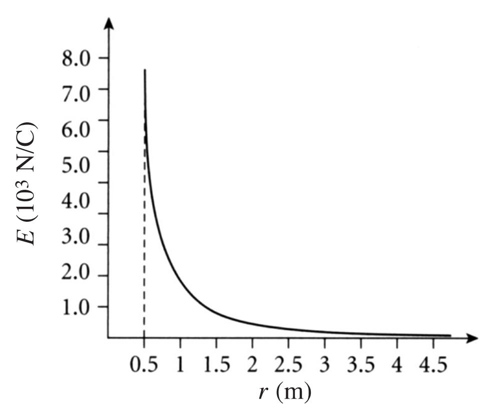
وُضعَ جسمٌ مشحونٌ سلبيًّا على مقربةٍ من سطحِ جسمٍ موصِّل، ثمَّ تمَّ توصيلُ الجهةِ المقابلةِ للموصِّل بالأرض.

5. ما اسمُ عمليَّةِ الشحنِ هذه؟
أ. شحنٌ بالتلامس.
ب. شحنٌ بالحثّ.
ج. شحنٌ بالتوصيل.
د. شحنٌ بالاستقطاب.

6. ما نوعُ الشحنةِ التي تبقى على سطحِ الموصِّل؟
أ. متعادلة.
ب. سالبة.
ج. موجبة.
د. موجبةٌ من جهةٍ وسالبةٌ من الجهةِ المقابلة.

استعملِ الرسمَ البيانيَّ التالي للإجابةِ عن الأسئلةِ 7-10.

يوضِّحُ الرسمُ شدَّةَ المجالِ الكهربائيِّ على مسافاتٍ مختلفةٍ من مركزِ كرةٍ موصِّلةٍ مشحونةٍ في مولِّد ڤان دي غراف.



7. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ على مسافة 2.0 m من مركزِ الكرةِ المشحونة؟
أ. 0 N/C
ب. 5.0×10^2 N/C
ج. 5.0×10^3 N/C
د. 7.2×10^3 N/C

8. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ على سطحِ الكرةِ المشحونة؟

أ. $0\ N/C$

ب. $1.5 \times 10^2\ N/C$

ج. $2.0 \times 10^2\ N/C$

د. $7.2 \times 10^3\ N/C$

9. ما شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ داخلَ الكرةِ المشحونة؟

أ. $0\ N/C$

ب. $1.5 \times 10^2\ N/C$

ج. $2.0 \times 10^2\ N/C$

د. $7.2 \times 10^3\ N/C$

10. ما نصفُ قطرِ الكرةِ المشحونة؟

أ. $0.5\ m$

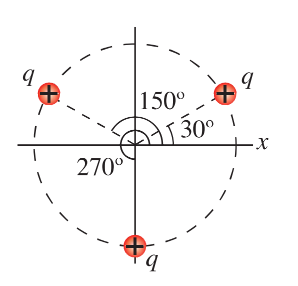
ب. $1.0\ m$

ج. $1.5\ m$

د. $2.0\ m$

أسئلة ذاتُ إجابةٍ قصيرة

11. تقعُ ثلاثُ شحناتٍ متشابهةٍ ($q = +5.0\ mC$) على دائرةٍ نصفُ قطرها $2.0\ m$ وبزوايا $30°$ و $150°$ و $270°$ كما يظهرُ في الشكلِ أدناه. ما المجالُ الكهربائيُّ المحصَّلُ على مركزِ الدائرة؟



12. إذا انجذبَ جسمٌ متدلٍّ إلى جسمٍ آخرَ مشحونٍ، هل يمكنُ الاستنتاجُ أنَّ الجسمَ المتدلّي مشحونٌ أيضًا؟ اشرحْ إجابتك باختصار.

13. يحتوي $1\ g$ من الهيدروجين على 6.02×10^{23} ذرَّة، لكلٍّ منها إلكترونٌ واحدٌ وبروتونٌ واحد. افترضْ أنَّ الإلكتروناتِ الموجودةَ في $1\ g$ من الهيدروجين تمَّ فصلُ بعضِها عن بعض، ووضعْنا البروتوناتِ عند القطبِ الشماليِّ للكرةِ الأرضيَّة، والإلكتروناتِ عند القطبِ الجنوبيِّ. إذا كانَ نصفُ قطرِ الكرةِ الأرضيَّة $6.38 \times 10^6\ m$، فكم يكونُ مقدارُ القوَّةِ الكهربائيَّةِ الضاغطةِ على الأرض؟

14. يصبحُ الهواءُ موصِّلاً كهربائيًّا إذا زادَتْ شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ على $3.0 \times 10^6\ N/C$. احسبْ أقصى كمِّيَّة من الشحنةِ يمكنُ لكرةٍ معدنيَّةٍ نصفُ قطرِها $2.0\ m$ أن تكتسبَها.

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلة

استعملِ المعلوماتِ التاليةَ للإجابةِ عن الأسئلةِ 15-18.

يتسارعُ بروتونٌ كتلتُه $1.673 \times 10^{-27}\ kg$ من السكونِ تحتَ تأثيرِ مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ شدَّتُه $640\ N/C$، وتصبحُ سرعتُه عند لحظةٍ معيَّنة $1.2 \times 10^6\ m/s$.

15. ما مقدارُ تعجيلِ البروتون؟

16. ما الزمنُ الذي احتاجَ إليه البروتونُ للوصولِ إلى هذه السرعة؟

17. ما المسافةُ التي قطعَها البروتونُ خلالَ هذا الزمن؟

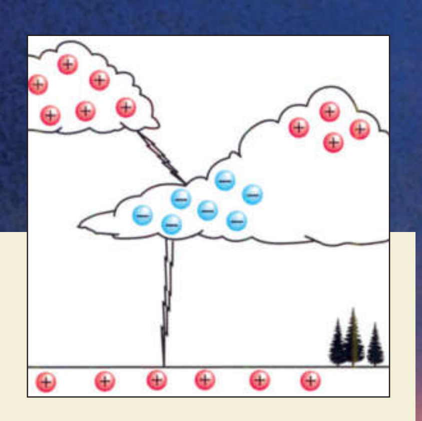
18. ما الطاقةُ الحركيَّةُ النهائيَّةُ للبروتون؟

19. تضعُ طالبةٌ، وهي تقفُ على مادَّةٍ معزولةٍ، يدَها على كرةٍ مشحونةٍ بشحنةٍ كبيرة، وسرعانَ ما يقفُ شعرُها. اشرحِ انتقالَ (أو عدمَ انتقال) الشحنةِ في هذه الحالة. لماذا لا تتعرَّضُ الطالبةُ لصدمةٍ كهربائيَّة؟ ولماذا تقفُ أطرافُ شعرِها عندما نشغِّلُ المولِّد؟



الفصل 7

الطاقةُ الكهربائيّةُ والتيّارُ الكهربائيُّ
Electrical Energy and Current



عند حدوثِ عاصفةٍ رعديَّةٍ، تتراكمُ شحناتٌ مختلفةٌ في أجزاءٍ مختلفةٍ من الغيمةِ، مُحدِثةً مجالاً كهربائيًّا بينَ الغيمةِ والأرضِ، ينتجُ عنه تفريغٌ كهربائيٌّ كبيرٌ. عندَ هذه النقطةِ تتحلَّلُ الجزيئاتُ في الهواءِ، وتتحوَّلُ إلى جُسيماتٍ مشحونةٍ فتشكِّلُ حالةً من المادَّةِ تُسمّى البلازما. بما أن البلازما موصِّلٌ للكهرباءِ فإنَّ شحنةً كهربائيةً تنسابُ بين الغيمةِ وسطحِ الأرضِ، محدثةً البرقَ.



ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

تتعلَّمُ في هذا الفصلِ عن الجهدِ الكهربائيِّ والطاقةِ الكهربائيَّةِ، وكيفيَّةِ استعمالِ المكثِّفاتِ لتخزينِ الطاقةِ. وتتعرَّفُ كذلك التيّارَ الكهربائيَّ والمقاومةَ.

ما أهمّيّتُه

في مجتمعِنا الحديثِ، يتَّصفُ استعمالُ الطاقةِ الكهربائيَّةِ بالعالميَّةِ، وبالتالي، فإنَّ فهمَ الطاقةِ الكهربائيَّةِ والعواملِ المؤثِّرةِ في معدَّلِ استعمالِها، قد يُساعدُنا على استهلاكِها بوعيٍ وحكمةٍ.

محتوى الفصل 7

القسم 1-7

الجُهدُ الكهربائيُّ
Electric Potential

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ

درسْتَ سابقًا القوَّةَ الكهربائيَّةَ التي تنشأُ بين شحنتَيْن نتيجةَ التفاعلِ الذي يحدثُ بينَهما. تتعلَّقُ قوةُ الجاذبيَّةِ بموقعِ الجسمِ من الأرض، وتتعلَّقُ الطاقةُ الكامنةُ بهذه القوَّةِ، كذلك تتعلَّقُ **الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ** electrical potential energy بالقوَّةِ الكهربائيَّةِ. لكن بخلافِ الطاقةِ الكامنةِ الجذبيَّةِ تنشأُ الطاقةُ الكهربائيَّةُ من تفاعلِ شحنتَي الجسمَيْن، وليس من تفاعلِ كتلتَيْهما.

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ جزءٌ من الطاقةِ الميكانيكيَّةِ

الطاقةُ الميكانيكيَّةُ محفوظةٌ بغيابِ الاحتكاكِ والإشعاعِ. وشأنُها شأنُ الطاقتَيْن الكامنتَيْن الجذبيَّةِ والمرونيَّةِ، تندرجُ ضمنَ الطاقةِ الميكانيكيَّةِ. إذا كانَتِ القوى الثلاثُ، الجذبيَّةُ والمرونيَّةُ والكهربائيَّةُ، تؤثِّرُ مجتمعةً في جسمٍ معيَّنٍ، تكتبُ صيغةُ الطاقةِ الميكانيكيَّةِ كالتالي:

$$ME = KE + PE_{\text{جذبية}} + PE_{\text{مرونية}} + PE_{\text{كهربائية}}$$

لا تزالُ تذكرُ، بعدَ دراستِك لفصلِ «الشغلُ والطاقةُ» الفكرةَ التاليةَ: عندَما يتحرَّكُ جسمٌ تحتَ تأثيرِ قوَّةٍ ما، يكونُ قد بُذلَ شغلٌ على الجسمِ. يصحُّ هذا أيضًا في الشحناتِ التي تتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ قوى كهربائيَّةٍ. فكلَّما تحرَّكَتْ شحنةٌ بسببِ تأثيرِ المجالِ الكهربائيِّ لشحنةٍ أو شحناتٍ أخرى، يكونُ قد بُذلَ شغلٌ على الشحنةِ.

لنأخذْ، مثلاً، ملفَّ تسلا الظاهرَ في **الشكل 1-7** حيث تتراكمُ على قرصِه، في مركزِ الجهازِ، شحناتٌ كهربائيَّةٌ سالبةٌ. نجدُ أن الطاقةَ الكهربائيَّةَ المتعلِّقةَ بكلِّ شحنةٍ تتناقصُ كلَّما تحرَّكَتِ الشحنةُ من المركزِ إلى جدرانِ الملفِّ (وعبرَ الجدرانِ وصولاً إلى الأرضِ).



الشكل 1-7
عندما تتحرَّكُ الشحناتُ في الشراراتِ الظاهرةِ، تنقصُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ، تمامًا كما يحدثُ عندما تنقصُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيَّةُ بسقوطِ جسمٍ معيَّنٍ.

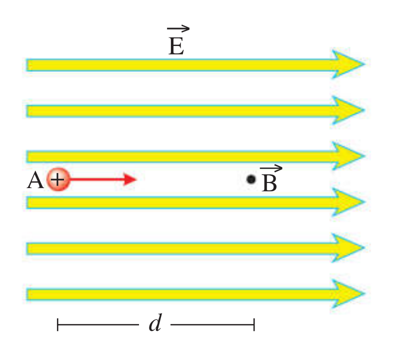
1-7 أهدافُ القسمِ

- يميِّزُ بينَ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ والجُهدِ الكهربائيِّ وفرقِ الجُهدِ.
- يحلُّ مسائلَ على الطاقةِ الكهربائيةِ وفرقِ الجُهدِ.
- يصفُ تحوُّلاتِ الطاقةِ التي تحدثُ في البطَّاريَّةِ.

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ
الطاقةُ التي تمتلكُها الشحنةُ بسببِ موقعِها في المجالِ الكهربائيِّ.

الطاقةُ الكهربائيَّةُ لشحنةٍ في مجالٍ مُنتظمٍ

افترضْ أن شحنةً موجبةً في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ (للمجالِ المنتظمِ المقدارُ نفسُه والاتجاهُ نفسُه عند جميعِ النقاطِ.) قد أزيحَتْ بسرعةٍ ثابتةٍ في اتِّجاهِ المجالِ نفسِه، كما يظهرُ في **الشكل 7-2**.



الشكل 7-2
تتحرَّكُ الشحنةُ الموجبةُ من نقطةِ A إلى نقطةِ B عبرَ مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ، مسبِّبةً تغيُّرًا في الطاقةِ الكامنةِ.

يكونُ بذلك قد طرأ تغيُّرٌ على الطاقةِ الكهربائيَّةِ نتيجةَ موقعِ الشحنةِ الجديدِ في المجالِ الكهربائيِّ. يعتمدُ هذا التغيُّرُ على الشحنةِ q، وشدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ E، والإزاحةِ d أيضًا. تكتبُ العلاقةُ على الشكلِ التالي:

$$\Delta PE_{\text{كهربائية}} = -qEd$$

الإشارةُ السالبةُ في العلاقة تعني أن الطاقةَ الكامنةَ الكهربائيَّةَ تزدادُ إذا كانَتِ الشحنةُ سالبةً، وتنقصُ إذا كانَتِ الشحنةُ موجبةً.

وكباقي الأشكالِ الأخرى للطاقاتِ الكامنةِ، ما يهمُّنا فيزيائيًّا هو الفرقُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ. عندَ اختيارِ الإزاحةِ في العلاقةِ أعلاه، بحيث يكونُ اتجاهُها في اتِّجاهِ المجالِ الكهربائيِّ وقياسُ المسافةِ بدءًا من نقطةٍ مرجعٍ أو مستوًى صفريٍّ، تصبحُ الطاقةُ الكهربائيَّةُ الابتدائيةُ صفرًا. تبسَّطُ عندَها العلاقةُ السابقةُ، فتُكتبُ كالتالي:

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ

$$PE_{\text{كهربائية}} = -\,qEd$$

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ = − (الشحنة × شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ × الإزاحةِ من نقطةٍ مرجعٍ في اتِّجاهِ المجالِ)

حيثُ يُعبَّرُ عن الطاقةِ الكهربائيَّةِ في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI بوحدةِ جول (J).

يصحُّ تطبيقُ هذه المعادلةِ في حالةٍ واحدةٍ فقط، هي أن يكونَ المجالُ الكهربائيُّ منتظمًا، كالمجالِ بين صفيحتَينِ متوازيتَينِ تحملانِ شحنتَيْنِ مختلفتَيْنِ، حيثُ شدَّةُ المجالِ ثابتةٌ، وخطوطُ المجالِ جميعُها متوازيةٌ، وفي الاتِّجاهِ نفسِه.

أما خطوطُ المجالِ الكهربائيِّ لشحنةٍ نقطيَّةٍ، فإنها تتباعدُ كلَّما ازدادَتِ المسافةُ عن الشحنةِ (ويقلُّ مقدارُ المجالِ أيضًا). مما يُفضي إلى أن مجالَ الشحنةِ النقطيَّةِ ليسَ منتظمًا.

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ والطاقةُ الكامنةُ الجذبيَّةُ

عندَ حسابِ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ، تكونُ d مقدارَ مركَّبةِ الإزاحةِ في اتِّجاهِ المجالِ الكهربائيِّ. يبذلُ المجالُ الكهربائيُّ $\vec{E}$ شغلاً على شحنةٍ موجبةٍ عندَ تحريكِ الشحنةِ في اتِّجاهِه (تمامًا كما يبذلُ مجالُ جاذبيَّةِ الأرضِ شغلاً على كتلةٍ عندَ تحريكِها في اتِّجاهِ الأرضِ). بعدَ هذه الحركةِ، تصبحُ الطاقةُ الكامنةُ النهائيَّةُ للنظامِ أقلَّ من طاقةِ جُهدِه الابتدائيَّةِ. أما الشحنةُ السالبةُ، فسلوكُها معاكسٌ، لأنها تطبِّقُ قوَّةً في الاتِّجاهِ المعاكسِ. وتحريكُ شحنةٍ في اتِّجاهٍ متعامدٍ مع $\vec{E}$ يشبهُ تحريكَ جسمٍ أفقيًّا في مجالِ جاذبيَّةِ الأرضِ، حيث لا شغلٌ يُبذلُ، وحيث تبقى الطاقةُ الكامنةُ للنظامِ ثابتةً.

فرقُ الجُهدِ

يكونُ مفهومُ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ مفيدًا في حلِّ المسائلِ، وخصوصًا المسائلَ التي تتضمَّنُ جُسيماتٍ مشحونةً. لكن عندَما يزدادُ مقدارُ الشحنةِ عندَ أيِّ نقطةٍ داخلَ المجالِ، تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المرتبطةُ بها فتزدادُ المسألةُ صعوبةً. لتفادي صعوبةِ هذه العلاقةِ التبعيَّةِ، يُفضَّلُ التعبيرُ عن مفهومِ **الجُهدِ الكهربائيِّ** electric potential بصيغةٍ لا تعتمدُ على الشحنةِ عندَ تلك النقطةِ.



الجُهدُ الكهربائيُّ

الشغلُ الذي يجبُ بذلُه ضدَّ قوًى كهربائيَّةٍ لتحريكِ الشحنةِ من نقطةٍ مرجعٍ إلى نقطةٍ أخرى، مقسومًا على الشحنةِ.

يُعرَّفُ الجهدُ الكهربائيُّ عندَ نقطةٍ معيَّنةٍ بالطاقةِ الكامنةِ الكهربائيةِ لجُسيمٍ مشحونٍ داخلَ مجالٍ كهربائيٍّ مقسومةً على شحنةِ الجُسيمِ:

$$V = \frac{PE_{\text{كهربائية}}}{q}$$

ويكونُ الجُهدُ عندَ نقطةٍ ما حصيلةَ مجالاتٍ تُحدثُها شحناتٌ أخرى قريبةٌ بقدرٍ كافٍ وكبيرةٌ بقدرٍ كافٍ لتُساهمَ في تطبيقِ قوَّةٍ على تلك الشحنةِ. بمعنى آخرَ، لا يعتمدُ الجُهدُ الكهربائيُّ عندَ نقطةٍ معيَّنةٍ على الشحنةِ الموجودةِ عند تلك النقطةِ، والمسمّاةِ شحنةَ اختبارٍ. لكنَّ القوةَ المؤثِّرةَ في شحنةِ الاختبارِ عند تلك النقطةِ تتناسبُ طرديًّا مع مقدارِ الشحنةِ.

فرقُ الجُهدِ هو تغيُّرٌ في الجُهدِ الكهربائيِّ

فرقُ الجُهدِ potential difference بين نقطتَيْن يُعبَّرُ عنه بالتالي:

فرقُ الجُهدِ

الشغلُ الذي يجبُ بذلُه ضدَّ قوًى كهربائيَّةٍ لتحريكِ الشحنةِ بين نقطتَيْن، مقسومًا على الشحنةِ.

فرقُ الجُهدِ

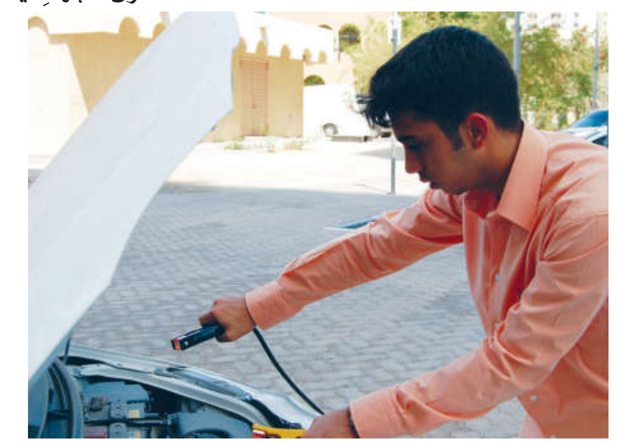
$$\Delta V = \frac{\Delta PE_{\text{كهربائية}}}{q}$$

فرقُ الجُهدِ = **التغيُّرُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ** / **الشحنةِ الكهربائيَّةِ**

فرقُ الجُهدِ قياسٌ للفرقِ في طاقةِ الجُهدِ الكهربائيَّةِ بينَ موقعَيْنِ في الفضاءِ، مقسومًا على الشحنةِ. يعبَّرُ عنه في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI بوحدةِ ڤولت V المكافئةِ لجولٍ لكلِّ وحدةِ كولومب. عندَما تتحرَّكُ شحنةٌ 1C تحتَ فرقِ جُهدِ 1V تكتسبُ الشحنةُ 1J من الطاقةِ. فرقُ الجُهدِ بينَ قطبَيِ البطّاريةِ يمكن أن يتراوحَ بين 1.5 V لبطّاريَّةٍ صغيرةٍ و13.2 V لبطّاريَّةِ سيّارةٍ شبيهةٍ بالتي يَتَفَحَّصَها السّائقُ في **الشكل 7-3**.

بما أن نقطةَ المرجعِ، المستعملة في قياسِ طاقةِ الجُهدِ الكهربائيَّةِ، اختياريَّةٌ، فنقطةُ المرجعِ اللازمةُ لقياسِ الجُهدِ الكهربائيِّ، هي أيضًا اختياريَّةٌ. بالتالي تصبحُ تغيُّراتُ الجُهدِ الكهربائيِّ هي المهمَّةُ فقط.

تذكَّرْ أن طاقةَ الجُهدِ الكهربائيَّةَ يعبَّرُ عنها بوحداتِ J، لأنها طاقةٌ. في حين أن الجُهدَ الكهربائيَّ وفرقَ الجُهدِ يعبَّرُ عنهما بوحداتِ الطاقةِ في وحدةِ شحنةٍ (أي ڤولت V)؛ علمًا أنَّ فرقَ الجُهدِ يصفُ التغيُّرَ في الطاقةِ لكلِّ وحدةِ شحنةٍ.



الشكل 7-3

لبطّاريَّةِ سيارةٍ نموذجيَّةٍ، فرقُ جُهدٍ يساوي 13.2 V بين القطبِ السالبِ (الأسودِ) والقطبِ الموجبِ (الأحمرِ).

تغيُّرُ فرقِ الجُهدِ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ مع الإزاحةِ من نقطةٍ مرجعٍ

تعبيرُ فرقِ الجُهدِ يمكنُ ضمُّه إلى تعابيرِ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ، لتشكِّلَ معًا معادلاتٍ يسهلُ تطبيقُها أحيانًا في حالاتٍ معيَّنةٍ. لنتَّخذْ مثلاً الطاقةَ الكامنةَ الكهربائيَّةَ لشحنةٍ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ.

$$PE_{\text{كهربائية}} = -qEd$$

يمكنُ تعويضُ التعبيرِ أعلاه في معادلةِ فرقِ الجُهدِ.

$$\Delta V = \frac{\Delta(-\cancel{q}Ed)}{\cancel{q}}$$

عندَما تتحرَّكُ الشحنةُ داخلَ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ، تبقى الكمِّيةُ داخلَ القوسَيْنِ بلا تغييرٍ من نقطةِ المرجعِ. عندَها يمكن صياغةُ معادلةِ فرقِ الجُهدِ كالتالي:

فرقُ الجُهدِ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ

$$\Delta V = -Ed$$

فرقُ الجُهدِ = −(مقدار المجالِ الكهربائيِّ × الإزاحة)

تذكَّرْ أن الإزاحةَ تحدثُ في اتِّجاهٍ موازٍ للمجالِ. أما الحركةُ المتعامدةُ مع المجالِ، فإنها لا تغيِّرُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ.

نقطةُ المرجعِ لفرقِ الجُهدِ قربَ شحنةٍ نقطيَّةٍ هي عادةً في اللانهايةِ

لتحديدِ فرقِ الجُهدِ بين نقطتَيْنِ في مجالِ شحنةٍ نقطيَّةٍ، نحسبُ أوَّلاً الجُهدَ الكهربائيَّ على كلِّ نقطةٍ. تخيَّلْ شحنةً نقطيَّةً q_2 تقعُ على نقطةِ A في المجالِ الكهربائيِّ لشحنةٍ نقطيَّةٍ أخرى q_1 تقعُ على نقطةِ B، وتبعدُ مسافةَ r عن A كما يظهرُ في **الشكل 7-4**. يُعبَّرُ عن الجُهدِ الكهربائيِّ الذي تسبِّبُه q_1 عندَ النقطةِ A، بالتالي:

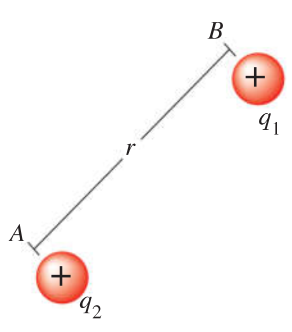
$$V_A = \frac{PE_{\text{كهربائية}}}{q_2} = k_C\frac{q_1\cancel{q_2}}{r\cancel{q_2}} = k_C\frac{q_1}{r}$$

احرصْ على عدمِ الخلطِ بينَ q_1 و q_2 في هذا المثالِ. فالشحنةُ q_1 هي المسؤولةُ والمسبِّبةُ للجُهدِ الكهربائيِّ على النقطةِ A. نستنتجُ أن هناكَ جهدًا كهربائيًّا عندَ نقطةٍ ما داخلَ مجالٍ كهربائيٍّ، بصرفِ النظرِ عمّا إذا كانَ هناك شحنةٌ على تلك النقطةِ أم لا. في هذه الحالةِ، يعتمدُ الجُهدُ الكهربائيُّ عندَ نقطةٍ معيَّنةٍ على كمِّيتَيْنِ فقط، هما: الشحنةُ المسؤولةُ عن الجُهدِ الكهربائيِّ (q_1 في هذه الحالةِ)، والمسافةُ r بين هذه الشحنةِ والنقطةِ المعنيَّةِ.

لتحديدِ فرقِ الجُهدِ بين نقطتَيْنِ قريبتَيْنِ M و N من الشحنةِ q_1، تجدرُ الملاحظةُ أن الجُهدَ الكهربائيَّ على أيِّ نقطةٍ يعتمدُ، بالإضافةِ إلى q_1، على مسافةِ النقطةِ من q_1.

هل تعلم؟

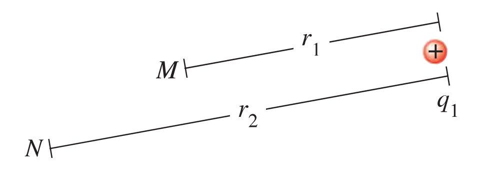
إن وحدةَ الطاقةِ eV (إلكترون ڤولت) بقيمتِها الصغيرةِ نسبيًّا، شائعةُ الاستعمالِ في حقلِ الفيزياءِ الذرِّيَّةِ والنوويَّةِ. إذْ تعرَّفُ بأنها الطاقةُ التي يكتسبُها إلكترون (أو بروتون) لدى تسارعِه تحتَ فرقِ جُهدٍ يساوي 1V، علمًا أن 1 eV يساوي 1.60×10^{-19} J.



الشكل 7-4
الجُهدُ الكهربائيُّ عندَ نقطةِ A يعتمدُ على الشحنةِ الواقعةِ عندَ نقطةِ B، والمسافةِ r عن A.

إذا كانَتِ المسافتان r_1 و r_2، يُكتبُ تعبيرُ فرقِ الجُهدِ بينَ هاتَيْن النقطتَيْن كالتالي:

$$\Delta V = k_C \frac{q_1}{r_2} - k_C \frac{q_1}{r_1} = k_C q_1 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1}\right)$$



قد تكونُ المسافةُ r_1 بينَ النقطةِ وq_1 كبيرةً جدًّا، إلى حدٍّ يمكنُ معه افتراضُها لا متناهيةً. تصبحُ في هذه الحالةِ الكمّيّةُ $\frac{1}{r_1}$ صفرًا، والتعبيرُ أعلاه يكتبُ بصيغةٍ مبسَّطةٍ كالتالي:

فرقُ الجُهدِ بينَ نقطةٍ في اللانهايةِ ونقطةٍ بالقربِ من الشحنةِ النقطيَّةِ

$$\Delta V = k_C \frac{q}{r}$$

فرق الجُهد = ثابتَ كولومب × $\frac{\text{قيمةِ الشحنةِ}}{\text{المسافةِ من الشحنةِ}}$

يتَّضحُ وجهُ الشبهِ بينَ تعبيرِ فرقِ الجُهدِ المتعلِّقِ بشحنةٍ نقطيَّةٍ وتعبيرِ الجُهدِ الكهربائيِّ المتعلِّقِ بالشحنةِ. مردُّ ذلك اختيارُنا لنقطةٍ مرجعٍ خاصَّةٍ لقياسِ فرقِ الجُهدِ.

أحدُ التطبيقاتِ المعروفةِ لمفهومِ فرقِ الجُهدِ، يظهرُ في عمليّاتِ الدوائرِ الكهربائيَّةِ. تذكَّرْ أن نقطةَ المرجعِ اللازمةَ لتحديدِ الجُهدِ الكهربائيِّ على نقطةٍ معيَّنةٍ، هي نقطةٌ اختياريَّةٌ يجبُ تعريفُها، وتكونُ الأرضُ، في العادةِ، نقطةَ المرجعِ المناسبةِ، ما يجعلُ جُهدَ الأرضِ الكهربائيَّ تلقائيًّا يساوي صفرًا. فوصلُ جهازٍ كهربائيٍّ بالأرضِ (أي تأريضُه) يشكِّلُ نقطةً مرجعًا محتملةً، تُستعملُ عادةً لقياسِ الجُهدِ الكهربائيِّ في دائرةٍ كهربائيَّةٍ معيَّنةٍ.

مبدأُ التراكُبِ في حسابِ الجُهدِ الكهربائيِّ لمجموعةِ شحناتٍ

الجُهدُ الكهربائيُّ، عندَ نقطةٍ قريبةٍ من شحنتَيْن أو أكثرَ، يمكنُ حسابُه بتطبيقِ قاعدةٍ تسمّى مبدأَ التراكُبِ. ينصُّ المبدأُ على أن الجُهدَ الكهربائيَّ الكلّيَّ، عندَ نقطةٍ قريبةٍ من شحناتٍ نقطيةٍ عدَّةٍ، يساوي المجموعَ الجبريَّ لجميعِ الجهودِ الكهربائيَّةِ لهذه الشحناتِ عندَ تلك النقطةِ. بالرغمِ من أن طريقةَ الجمعِ هنا شبيهةٌ بالطريقةِ المتَّبعةِ في حسابِ المجالِ الكهربائيِّ المحصِّلةِ، عند نقطةٍ في الفضاءِ، فإنَّ جمعَ الجهودِ الكهربائيَّةِ يبقى أسهلَ كثيرًا. مردُّ ذلك أن الجُهدَ الكهربائيَّ كمّيَّةٌ عدديَّةٌ وليسَ اتِّجاهيَّة. وبالتالي، فليسَ ضروريًّا التعاملُ مع مركَّباتِ المتَّجهِ.

لحسابِ الجُهدِ الكهربائيِّ عندَ نقطةٍ قريبةٍ من مجموعةِ شحناتٍ نقطيَّةٍ، تذكَّرْ أنه حسابٌ جبريٌّ يستوجبُ استعمالَ إشاراتٍ. فيكونُ الجُهدُ موجبًا عندَ نقطةٍ قريبةٍ من شحنةٍ موجبةٍ، وسالبًا بالقربِ من شحنةٍ سالبةٍ.

هل تعلم؟

يرجعُ اسمُ وحدةِ ڤولت إلى الفيزيائيِّ الإيطاليِّ أليخاندرو ڤولتا (1745-1827) الذي طوَّرَ أوَّلَ بطّاريَّةٍ كهربائيَّةٍ عمليَّةٍ، فسُمِّيت البطّاريَّةُ الڤولتيَّةُ باسمِه. أما فرقُ الجُهد فيسمّى، أحيانًا، بالڤولتيَّةِ لأن وحدةَ قياسِه الڤولت.

مثال 7 (أ)

الطاقةُ الكامنةُ وفرقُ الجُهدِ

المسألة

تتحرَّكُ شحنةٌ مسافةَ 2.0 cm في اتِّجاهِ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُه 215 N/C. تنخفضُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للشحنةِ بمقدارِ 6.9×10^{-19} J. جدِ الشحنةَ وفرقَ الجُهدِ بينَ الموقعَيْن.

الحَــلّ

المعطى:

$$\Delta PE_{\text{كهربائية}} = -6.9 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$d = 0.020\ \text{m}$$

$$E = 215\ \text{N/C}$$

المجهول: $q = ?$ $\quad \Delta V = ?$

أستعملُ معادلةَ التغيُّرِ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ:

$$\Delta PE_{\text{كهربائية}} = -qEd$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لحسابِ q:

$$q = \frac{\Delta PE_{\text{كهربائية}}}{Ed} = -\frac{(-6.9 \times 10^{-19}\ \text{J})}{(215\ \text{N/C})(0.020\ \text{m})}$$

$$\boxed{q = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}}$$

فرقُ الجُهدِ يساوي مقدارَ المجالِ مضروبًا في الإزاحةِ:

$$\Delta V = -Ed = -(215\ \text{N/C})(0.020\ \text{m})$$

$$\boxed{\Delta V = -4.3\ \text{V}}$$

ملاحظة

تذكَّرْ أن وحدةَ N.m تساوي وحدةَ J ووحدةَ J/C تساوي V.
يعبَّرُ عن فرقِ الجُهدِ إذًا بوحدة V.

تطبيق 7 (أ)

الطاقةُ الكامنةُ وفرقُ الجُهدِ

1. عندَما يتحرَّكُ جسيمٌ مسافةَ 10.0 m في اتِّجاهِ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُه 75 N/C، تنخفضُ طاقتُه الكامنةُ الكهربائيَّةُ بـ 4.8×10^{-16} J. ما شحنةُ الجسيمِ؟
2. ما فرقُ الجُهدِ بينَ الموقعَيْن الابتدائيِّ والنهائيِّ للجُسيمِ في السؤالِ 1؟
3. يتحرَّكُ إلكترونٌ مسافةَ 4.5 m في عكسِ اتِّجاهِ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُه 325 N/C. جدِ التغيُّرَ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ.

البطّاريّةُ تبذلُ شغلاً لتحرّكَ الشحناتِ

أفضلُ تطبيقٍ على مفهومَي الجُهدِ الكهربائيِّ وفرقِ الجُهدِ، يظهرُ في الطريقةِ التي تشغِّلُ بها البطّاريةُ جهازًا كهربائيًّا، مثلَ المصباحِ الكهربائيِّ والمحرِّكِ والساعةِ. فالبطّاريّةُ جهازٌ لتخزينِ الطاقةِ يوفِّرُ فرقَ جُهدٍ ثابتًا بينَ موقعَيْنِ داخلَ البطّاريةِ نسمّيهما قُطبَي البطّاريَّةِ.

لا تزالُ تذكرُ أن النقطةَ المرجعَ اللازمةَ لتحديدِ الجهدِ الكهربائيِّ في موقعٍ معيَّنٍ، هي نقطةٌ اختياريَّةٌ. لنتَّخذْ مثلاً بطّاريةً 1.5 V، نموذجيَّةً قلويَّةً. هذا النوعُ من البطّاريَّاتِ يحافظُ بينَ قُطبَيْه على جُهدٍ كهربائيٍّ ثابتٍ حين يكونُ للقُطبِ الموجبِ جُهدٌ كهربائيٌّ يزيدُ 1.5 V على الجُهدِ الكهربائيِّ للقُطبِ السالبِ. إذا اخترْنا للطرفِ السالبِ جهدًا كهربائيًّا يساوي صفرًا، يصبحُ عندها جُهدُ القُطبِ الموجبِ 1.5 V. ويصحُّ أيضًا اختيارُ 0.75 V – جُهدًا للقطبِ السالبِ ليصبحَ جُهدُ القُطبِ الموجبِ 0.75 V+.

عندَ توصيلِ بطّاريةٍ بجهازٍ أو مصباحٍ كهربائيٍّ، يحدُث تفاعلٌ كيميائيٌّ داخلَ البطّاريَّةِ. الإلكتروناتُ التي ينتجُها التفاعلُ الكيميائيُّ تتجمَّعُ على القطبِ السالبِ للبطّاريةِ (ويسمّى الكاثودَ). وهناك شحناتٌ أخرى سالبةٌ تتحرَّكُ داخلَ البطّاريَّةِ من القُطبِ الموجبِ (ويُسمّى الأنودَ) في اتِّجاهِ القُطبِ السالبِ تحتَ فرقِ جهدٍ $\Delta V = -1.5$ V. يبذلُ التفاعلُ الكيميائيُّ داخلَ البطّاريَّةِ شغلاً – أي يزوّدُ طاقةً – على الشحناتِ، عندَ تحريكِها من القُطبِ الموجبِ إلى القُطبِ السالبِ، ما يزيدُ من طاقةِ الجُهدِ الكهربائيَّةِ للشحناتِ. نتيجةً لهذهِ الحركةِ يكتسبُ كلُّ 1C من الشحنةِ التي تركَتِ القُطبَ الموجبَ، طاقةَ جُهدٍ كهربائيةً كلّيَّةً تساوي 1.5 J.

لنتَّخذِ الآن حركةَ الإلكتروناتِ في جهازٍ كهربائيٍّ متَّصلٍ بالبطّاريَّةِ. عندَ انتقالِ شحنةِ 1C عبرَ الجهازِ في اتِّجاهِ القُطبِ الموجبِ تتخلّى الشحنةُ عن طاقتِها الكهربائيَّةِ 1.5 J لصالحِ الجهازِ. عندَ وصولِها إلى القُطبِ الموجبِ، تعودُ طاقةُ جُهدِ الشحنةِ الكهربائيَّةِ إلى الصفرِ.

لإحداثِ تفاعلٍ كيميائيٍّ داخلَ البطّاريَّةِ، ينبغي أن تنتقلَ الإلكتروناتُ عبرَ مسارٍ خارجيٍّ إلى القُطبِ الموجبِ للبطّاريَّةِ. لهذا السببِ يمكنُ للبطّاريَّةِ أن تحافظَ على قدرتِها الكهربائيَّةِ لفترةٍ طويلةٍ، بالرغمِ من عدمِ استعمالِها.

نشاط عملي سريع

بطّاريَّةُ ڤولتا

المواد

- ✓ ملح
- ✓ ماء
- ✓ منديلٌ ورقيٌّ
- ✓ قطعُ نقودٍ معدنيَّةٌ: كبيرة وصغيرة
- ✓ ڤولتمتر (0 – 1V)

أذِب قدرَ المُستطاعِ من الملحِ في الماءِ. رطِّبِ المنديلَ الورقيَّ في الماءِ المالحِ، ثم قَطِّعْه دوائرَ صغيرةً أكبرَ قليلاً من قطعةِ نقودٍ صغيرةٍ. كدِّسْ بالتتالي قطعةَ نقودٍ كبيرة ثم قطعةً ورقيَّةً، ثم قطعةَ نقودٍ صغيرة. تابعِ التكديسَ بوضعِ القطعةِ الكبيرةِ الثانية فوقَ قطعةِ النقودِ الأولى. قِس الڤولتيَّةَ بين القطعةِ الكبيرةِ الأولى والقطعةِ الصغيرةِ الأخيرة، بوضعِ طرفَيْ سلكَي الڤولتمترِ على طرفَي الكومةِ. احرصْ أن يكونَ الڤولتمترُ على أدنى ڤولتيَّةٍ مستمرَّةٍ. حاولْ تكديسَ طبقاتٍ إضافيَّةٍ من القطعةِ الكبيرةِ – الورقةِ – القطعةِ الصغيرة، وقِسِ الڤولتيَّةَ مرَّةً ثانيةً. ماذا يحدثُ لو استبدلْتَ بقطعِ النقودِ الكبيرةِ وقطعِ النقودِ الصغيرة نقودًا معدنيَّةً أخرى؟

مراجعةُ القسم 1-7

1. ما الفرقُ بينَ $\Delta PE_{\text{كهربائية}}$ و $PE_{\text{كهربائية}}$؟

2. إذا كان المجالُ الكهربائيُّ منتظمًا، فما العواملُ التي تعتمدُ عليها الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ؟

3. اذكرِ الشروطَ الضروريَّةَ لحفظِ الطاقةِ الميكانيكيَّةِ.

4. هل يوجد نقطةٌ مرجعٌ وحيدةٌ وصحيحةٌ ينبغي بدءًا منها إجراءُ جميعِ القياساتِ للطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ؟

5. مجالٌ كهربائيٌّ منتظمٌ مقدارُه 250 N/C واتِّجاهُه محورُ x الموجبُ. تتحرَّكُ الشحنةُ 12 μC من نقطةِ الأصلِ إلى النقطةِ (x = 20.0 cm، y = 50.0 cm). ما التغيُّرُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ للنظامِ نتيجةَ التغيُّرِ في موقعِ الشحنةِ؟

6. ما التغيُّرُ الذي يحدثُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ لمسارِ برقٍ، إذا انتقلَتْ شحنةٌ مقدارُها 35 C نحوَ الأرضِ، وفي اتِّجاهِ المجالِ الكهربائيِّ، من غيمةٍ تعلو 2.0 km عن سطحِ الأرضِ؟ (افترضْ أن المجالَ الكهربائيَّ منتظمٌ ومقدارُه 1.0×10^6 N/C).

7. في السيَّارةِ يبعدُ قطبا شمعةِ الإشعالِ بالشررِ أحدُهما عن الآخرِ مسافةَ 0.060 cm. ويتطلَّبُ إحداثُ شررٍ كهربائيٍّ في خليطٍ للوقودِ والهواءِ، مجالاً كهربائيًّا مقدارُه 3.0×10^6 V/m. ما أدنى فرقِ جُهدٍ يجبُ أن تزوِّدَهُ دائرةُ الإشعالِ لتشغيلِ السيّارةِ؟

8. أُفلتَ بروتونٌ من حالةِ السكونِ داخلَ مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ مقدارُه 8.0×10^4 V/m. نتيجةً لذلك تحرَّكَ البروتونُ مسافةَ 0.50 m.
   أ. جدْ فرقَ الجُهدِ بين موقعَي البروتونِ الابتدائيِّ والنهائيِّ.
   ب. جدِ التغيُّرَ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ للبروتونِ نتيجةَ الإزاحةِ.

9. في عاصفةٍ رعديَّةٍ، يتأيَّنُ الهواءُ بوساطةِ فولتيَّةٍ عاليةٍ، قبلَ أن يتشكَّلَ ممرٌّ موصِّلٌ لمسارِ البرقِ. يتطلَّبُ تأيُّنُ الهواءِ الجافِّ مجالاً كهربائيًّا مقدارُه حوالي 1.0×10^6 V/m. كم يجبُ أن يكونَ فرقُ جهدِ التفريغِ في الهواءِ، إذا كانَ ارتفاعُ الغيمةِ الرعديَّةِ 1.60 km عن سطحِ الأرضِ؟ افترضْ أن المجالَ الكهربائيَّ بينَ الغيمةِ والأرضِ منتظمٌ.

10. فسِّرْ علاقةَ الجُهدِ الكهربائيِّ بفرقِ الجُهدِ. ما وحداتُ كلٍّ منهما؟

11. **تفكيرٌ ناقد** كيف تحسبُ الجُهدَ الكهربائيَّ إذا كانَ المعطى الطاقةَ الكامنةَ الكهربائيَّةَ؟

12. **تفكيرٌ ناقد** لماذا تكونُ كمّيَّةُ الجُهدِ الكهربائيِّ أكثرَ فائدةً لمعظمِ الحساباتِ من الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ؟



السعةُ الكهربائيَّةُ للمكثِّفِ
Capacitance

7-2 أهدافُ القسمِ

- يربطُ السعةَ بتخزينِ الطاقةِ الكهربائيَّةِ على شكلِ شحناتٍ منفصلةٍ.
- يحسبُ السعةَ لأجهزةٍ متنوِّعةٍ.
- يحسبُ الطاقةَ المختزنةَ في المكثِّفِ.

المكثِّفاتُ وتخزينُ الشحنةِ

المكثِّفُ جهازٌ يُستعملُ لتخزينِ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ، بالإضافةِ إلى استعمالاتٍ كثيرةٍ أخرى، منها التحكُّمُ في تردُّداتِ الراديو، والتخلُّصُ من الشررِ في أجهزةِ إشعالِ السيّارةِ، وتخزينُ الطاقةِ في وحداتِ الوميضِ الإلكترونيِّ.

المكثِّفُ المنشَّطُ أو المشحونُ مفيدٌ، لأن الطاقةَ المختزنةَ فيه يمكنُ استرجاعُها عندَ الحاجةِ إليها في تطبيقٍ محدَّدٍ. التصميمُ النموذجيُّ للمكثِّفِ المتوازي الصفائحِ يتألَّفُ من صفيحتَيْنِ معدنيَّتَيْنِ متوازيتَيْنِ تفصلُ بينهما مسافةٌ صغيرةٌ. ونعني بشحنةِ المكثِّفِ مقدارَ الشحنةِ التي تحملُها كلُّ صفيحةٍ من صفيحتَيْهِ.

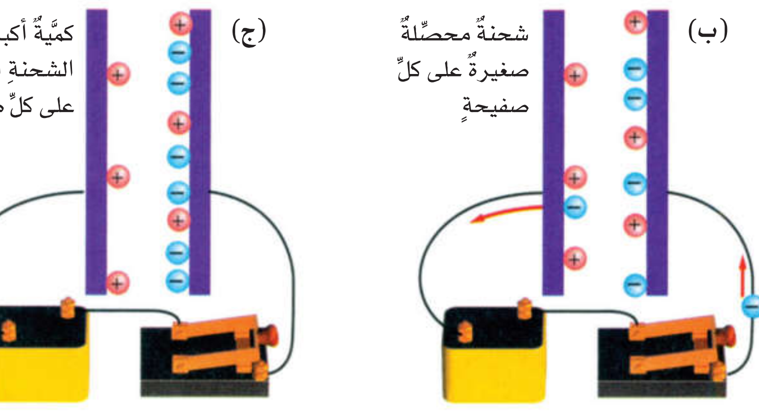
يُنشَّطُ المكثِّفُ بوصلِ صفيحتَيْهِ بقُطبَيْ بطّاريَّةٍ، أو مصادرَ أخرى لفرقِ الجُهدِ، كما يظهرُ في **الشكل 7-5**. بعدَ التوصيلِ تُنزعُ شحناتٌ عن إحدى الصفيحتَيْنِ لتبقى بشحنةٍ محصِّلةٍ. أما الصفيحةُ الأخرى فتتراكمُ عليها كمِّيَّةٌ مساويةٌ ومختلفةٌ من الشحناتِ. هذا الانتقالُ من الشحناتِ يتوقَّفُ عندَما يتساوى فرقُ الجُهدِ بين الصفيحتَيْنِ مع فرقِ الجُهدِ بين قُطبَيِ البطّاريَّةِ. عمليةُ الشحنِ هذه موضَّحةٌ في **الشكل 7-5 (ب)**.

السعةُ هي نسبةُ الشحنةِ إلى فرقِ الجُهدِ

قدرةُ المكثِّفِ، المصنوعِ من موصِّلين، على تخزينِ الطاقةِ بشكلِ شحناتٍ كهربائيَّةٍ منفصلةٍ تُسمّى **سعةَ المكثِّفِ** capacitance، وتُعرَّفُ بنسبةِ الشحنةِ المحصِّلةِ على كلِّ صفيحةٍ إلى فرقِ الجُهدِ الذي تحدثُه الشحناتُ المنفصلةُ.

سعةُ المكثِّفِ

قدرةُ المكثِّفِ على تخزينِ الطاقةِ بشكلِ شحناتٍ كهربائيَّةٍ منفصلةٍ.



الشكل 7-5

عندَ وصلِ المكثِّفِ ببطّاريَّةٍ، تكتسبُ صفيحتا المكثِّفِ المتوازيتانِ شحنتَيْنِ مختلفتَيْنِ في النوعِ ومتساويتَيْنِ في المقدارِ.

السعة

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

$$\text{السعة} = \frac{\text{مقدارَ الشحنةِ على كلِّ صفيحةٍ}}{\text{فرقِ الجُهد}}$$

وحدةُ السعةِ في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI هي الفاراد F، المكافئةُ لوحدةِ C/V. عند التطبيقِ يكونُ لمعظمِ المكثِّفاتِ سعةٌ تتراوحُ بين مايكروفاراد $(1\ \mu F = 1 \times 10^{-6}\ F)$ وبيكوفاراد $(1\ pF = 1 \times 10^{-12}\ F)$.

اعتمادُ السعةِ على حجمِ المكثِّفِ وشكلِه

لمكثِّفٍ متوازي الصفائحِ خالٍ من أيِّ مادةٍ بينَ صفيحتَيْه (فراغ)، سعةٌ يعبَّرُ عنها بالصيغةِ التاليةِ:

سعةُ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ في فراغ

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

$$\text{السعة} = \text{ثابتَ عازليَّةِ الفراغِ} \times \frac{\text{المساحةِ المشتركةِ للصفيحتَيْن}}{\text{المسافةِ بينَ الصفيحتَيْن}}$$

في الصيغةِ أعلاه يمثِّلُ الحرفُ اليونانيُّ ε (ويلفظ أَبْسِلُنْ) ثابتَ عازليَّةِ الوسطِ بين الصفيحتَيْن. ويدلُّ ترميزُ أسفلِه بالصفرِ على أن الوسطَ هو الفراغُ وقيمتُه $8.85 \times 10^{-12}\ C^2/N{\bullet}m^2$.

نطابقُ معادلتَي السعةِ لإيجادِ الشحنةِ المختزنةِ على المكثِّفِ.

$$\frac{Q}{\Delta V} = \varepsilon_o \frac{A}{d} \quad \text{أو} \quad Q = \frac{\varepsilon_o A}{d} \Delta V$$

تفيدُ المعادلةُ أن الشحنةَ، ولفرقِ جُهدٍ معطى، تتناسبُ طرديًّا مع المساحةِ المُشترَكةِ للصفيحتَيْن، وعكسيًّا مع مسافةِ الفصلِ بين الصفيحتَيْن.

افترضْ أن لكرةٍ موصِّلةٍ معزولةٍ نصفَ قُطرٍ R وشحنةً Q. فرقُ الجُهدِ بينَ سطحِ الكرةِ واللانهايةِ يتساوى مع ما قد تحدثُهُ شحنةٌ نقطيَّةٌ من فرقِ جُهدٍ على مركزِ الكرةِ.

$$\Delta V = k_C \frac{Q}{R}$$

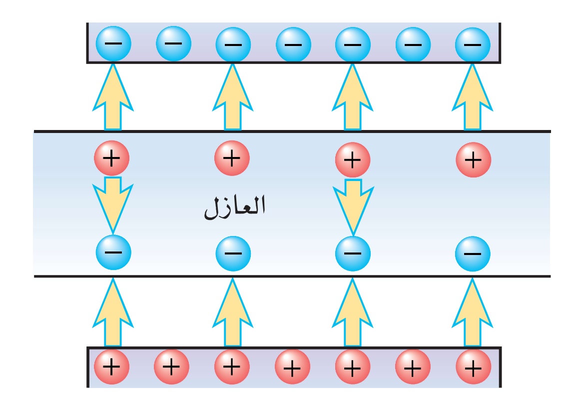
عندَ تعويضِ هذا التعبيرِ في تعريفِ السعةِ نحصلُ على التالي:

$$C_{\text{الكرة}} = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{R}{k_C}$$

تدلُّ هذه المعادلةُ على أن سعةَ الكرةِ تزدادُ بازديادِ حجمِها. وبما أن حجمَ الأرضِ كبيرٌ جدًّا، فسعةُ الأرضِ بالتالي كمّيةٌ هائلةٌ. تستطيعُ الأرضُ إذًا أن تزوِّدَ أو تستقبلَ كمّيَّةً كبيرةً من الشحناتِ، دون أن يتغيَّرَ جُهدُها الكهربائيُّ كثيرًا. لهذا السببِ تؤخذُ الأرضُ نقطةَ مرجعٍ لقياسِ فرقِ الجُهدِ في الدوائرِ الكهربائيَّةِ.

هل تعلم؟

تعودُ الوحدةُ F إلى اسمِ العالمِ الإنكليزيِّ مايكل فارادي (1791-1861) الذي ساهمَتْ إنجازاتُه العلميَّةُ في فهمِنا لظاهرةِ الكهرومغناطيسيَّةِ.



الشكل 6-7
يؤثِّرُ العازلُ في خفضِ شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ في المكثفِ.

المادةُ العازلةُ بين صفيحتَي المكثِّفِ عاملُ تغييرٍ لسعتِه

افترضْنا حتى الآن أن ما بينَ صفيحتَي المكثِّفِ المتوازي الصفائحِ فراغٌ. لكنَّ هذا الفراغَ تملؤُهُ في عدَّةِ مكثِّفاتٍ مادةٌ تُسمّى العازلَ. يدلُّ اسمُها على أنَّها مادةٌ عازلةٌ مثلُ الهواءِ والمطّاطِ والزجاجِ والورقِ المشمَّعِ. عندَ إدخالِ عازلٍ بينَ صفيحتَي المكثِّفِ تزدادُ سعةُ المكثِّفِ نتيجةً لاصطفافِ جُزَيئاتِ العازلِ في اتِّجاهِ المجالِ الكهربائيِّ، ما يسبِّبُ تكثيفًا للشحناتِ الموجبةِ قربَ سطحِ العازلِ، عندَ الصفيحةِ السالبةِ. الشحنةُ السطحيَّةُ على العازلِ تؤدّي بشكلٍ فعّالٍ إلى خفضِ شدَّةِ المجالِ بين صفيحتَي المكثِّفِ، كما يظهرُ في **الشكل 6-7**. إذًا تستطيعُ الصفائحُ تحتَ فرقِ جُهدٍ معيَّنٍ أن تُخزِّنَ المزيدَ من الشحناتِ. يفيدُ التعبيرُ $Q = C\Delta V$ بما يلي: إذا زادَتِ الشحنةُ مع فرقِ جُهدٍ ثابتٍ، تزدادُ السعةُ. يستطيعُ المكثِّفُ بعازلٍ وتحتَ فرقِ جهدٍ معيَّنٍ، تخزينَ شحنةٍ وطاقةٍ تفوقُ ما يستطيعُ تخزينُهُ المكثِّفُ نفسُه دونَ عازلٍ وبفرقِ الجُهدِ نفسِه. (نفترضُ في مسائلِ الفصلِ أن المكثِّفاتِ جميعَها فارغةٌ من دونِ عوازلَ).

تفريغُ المكثِّفِ بإفراغِهِ من الشحناتِ

بعدَ شحنِ المكثِّفِ، يمكنُ أن يزالَ من الدائرةِ الكهربائيَّةِ، البطّاريَّةُ، أو أيُّ مولِّدٍ لفرقِ

الفيزياءُ والحياةُ

1. شحنةٌ على صفيحةِ مكثِّفٍ
صمِّمَ مكثِّفٌ بحيثُ تكونُ إحدى صفيحتَيْه كبيرةً، والأخرى صغيرةً. هل للصفيحتَيْنِ المقدارُ نفسُه من الشحنةِ عند وصلِهما ببطّاريَّةٍ؟

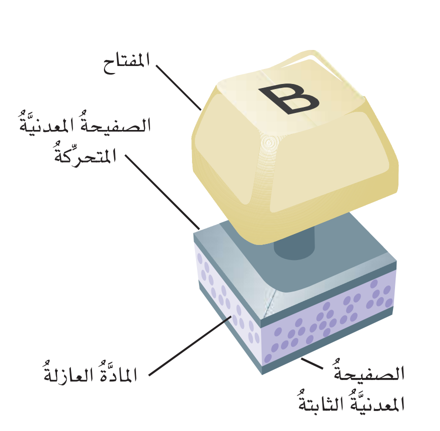
2. خزّانُ المكثِّفِ
ماذا يخزنُ المكثَّفُ علمًا أن الشحنةَ المحصِّلةَ في مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ هي دائمًا صفرٌ؟

جُهدٍ، كانَ قد استُعملَ. تبقى صفيحتا المكثِّفِ مشحونتَيْن ما لم يتمَّ وصلُهما بمادَّةٍ موصِّلةٍ تؤدّي إلى عمليَّةِ تفريغِ المكثِّفِ، وهي عكسُ عمليَّةِ الشحن. خلالَ هذه العمليَّةِ تعودُ الشحناتُ من صفيحةٍ إلى أُخرى، إلى أن تصبحَ الصفيحتانِ متعادلتَيْن مُجدَّدًا، لأنهما تشكّلان المستوى الأدنى لطاقةِ الجُهدِ الكهربائيَّة.

تُلحقُ بآلاتِ التصويرِ الفوتوغرافيِّ أداةٌ تستعملُ مكثِّفًا لترسلَ نورًا خاطفًا. تُستعملُ بطّاريةٌ لشحنِ المكثِّف. عندَ الضغطِ على مُعتِقِ الغلقِ لالتقاطِ صورةٍ، تُطلقُ هذه الشحنةُ المختزنةُ. إحدى إيجابيّاتِ تفريغِ مكثِّفٍ عوضًا عن استعمالِ بطّاريةٍ تشغِّلُ نظامَ إرسالِ نورٍ خاطفٍ، هي أن الشحنةَ المختزنةَ في المكثِّفِ يمكنُ دفعُها إلى أنبوبِ الإنارةِ بسرعةٍ عاليةٍ ما يوفِّرُ إضاءةً للجسمِ في اللحظةِ المناسبة.

يُستعملُ المكثِّفُ أيضًا في الحواسيبِ وبطرائقَ شتّى. تحتَ المفاتيحِ في اللوحةِ الخاصّةِ لأحدِ أنواعِ الحواسيب، مجموعةٌ من المكثِّفاتِ كتلكَ التي تظهرُ في **الشكل 7-7**. يتّصلُ كلُّ مفتاحٍ بصفيحةٍ متحرّكةٍ تمثِّلُ أحدَ جانبَيِ المكثِّف. وتمثِّلُ الصفيحةُ الثابتةُ في قاعِ اللوحةِ الجانبَ الآخرَ للمكثِّف. عندَ الضغطِ على المفتاح، يقلُّ الفاصلُ في المكثِّفِ مسبِّبًا زيادةً في السعة، ما يجعلُ الدوائرَ الإلكترونيَّةَ الخارجيَّةَ تتعرَّفُ المفتاحَ الذي تمَّ الضغطُ عليه.

وبما أن من الممكنِ التحكُّمَ في مساحةِ الصفائحِ والمسافةِ الفاصلةِ بينَهما، فبمقدورِنا التحكُّمُ في السعةِ وبالتالي في شدَّةِ المجالِ الكهربائيِّ.



الشكل 7-7
مكثِّفٌ متوازي الصفائحِ يستعملُ عادةً في لوحةِ مفاتيحِ الحاسوب.

الطاقةُ والمكثِّفاتُ

المكثِّفُ المشحونُ يخزِّنُ طاقةَ الجُهدِ الكهربائيَّة، لأن ذلك يتطلَّبُ شغلاً لدفعِ الشحناتِ عبرَ دائرةٍ، في اتِّجاهِ صفيحتَيِ المكثِّفِ المتقابلتَيْن يُعدُّ الشغلُ المبذولُ على هذهِ الشحناتِ مقياسًا لانتقالِ الطاقة.

لنبدأ مثلاً بمكثِّفٍ غيرِ مشحونٍ يكونُ لصفيحتَيْه الجُهدُ الكهربائيُّ نفسُه، أي إنهما متعادلتان، ما يعني أن نقلَ كمّيَّةٍ صغيرةٍ من الشحنةِ من صفيحةٍ إلى أُخرى لا يتطلَّبُ أيَّ شغلٍ. لكن، بعدَ نقلِ الشحنةِ، يظهرُ فرقُ جهدٍ بسيطٌ بين الصفيحتَيْن. وعندَ نقلِ المزيدِ من الشحناتِ عبرَ هذا الفرقِ في الجُهد، تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ للنظامِ الكهربائي نتيجةَ الشغلِ المبذولِ على الشحنة. الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ، المختزنةُ في مكثِّفٍ تمَّ شحنُه من الصفرِ إلى شحنةٍ ما، Q، يُعبَّرُ عنها كالتالي:

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المختزنةُ في مكثِّفٍ مشحونٍ

$$PE_{\text{الكهربائية}} = \frac{1}{2} Q\Delta V$$

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ =
$\frac{1}{2}$ **(الشحنةِ على إحدى الصفيحتَيْن)(فرقِ الجُهدِ النهائيِّ)**

لاحظْ أن المعادلةَ أعلاه هي أيضًا تعبيرٌ عن الشغلِ المطلوبِ لشحنِ المكثِّفِ.

إذا عوَّضنا السعة $(C = Q/\Delta V)$ في تعبيرِ الطاقةِ السابقِ، نحصلُ على شكلَيْن بديلَيْن للطاقةِ يصحُّ تطبيقُهما في أيِّ مُكثِّفٍ.

$$PE_{\text{كهربائية}} = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2$$

$$PE_{\text{كهربائية}} = \frac{Q^2}{2C}$$

هناك، عمليًّا، حدٌّ أقصى للطاقةِ (أو الشحنةِ) التي يمكنُ تخزينُها، بسببِ التفريغِ الكهربائيِّ الذي يحدُثُ في النهايةِ بين صفيحتَي المكثِّفِ لفرقِ جُهد كبير بما فيه الكفاية. تُرمَّزُ المكثِّفاتُ عادةً بفرقِ الجُهدِ الأقصى الذي تعملُ به. فالتفريغُ الكهربائيُّ في المكثِّفِ يشبهُ إلى حدٍّ ما تفريغَ شحنةِ البرقِ في الجوِّ. يظهرُ **الشكلُ 7-8** صورةً لقالبٍ من مادَّةٍ بلاستيكيَّةٍ يخضعُ لتفريغ كهربائيٍّ. مسائلُ الفصلِ تفترضُ أن جميعَ فروقِ الجُهدِ أقلُّ من الحدِّ الأقصى.



الشكل 7-8

العلاماتُ التي يسبِّبُها التفريغُ الكهربائيُّ على هذه المادَّةِ تبدو شبيهةً بمساراتِ البرقِ التي تظهرُ عندَما يتعرَّضُ الهواءُ لانهيارٍ كهربائيٍّ مشكِّلاً جُسيماتٍ مشحونةً من البلازما.

مثال 7 (ب)

السعة

المسألة

مكثِّفٌ موصولٌ ببطّاريَّةٍ 12 V، يختزنُ 36 μC من الشحنةِ في كلِّ صفيحةٍ. ما سعةُ المكثِّفِ، وما الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ التي يختزنُها؟

الحلّ

المعطى: $Q = 36\ \mu\text{C} = 3.6 \times 10^{-5}\ \text{C}$ $\qquad \Delta V = 12\ V$

المجهول: $C = ?$ $\qquad \Delta PE_{\text{كهربائية}} = ?$

لحسابِ السعةِ أستعملُ تعريفَها.

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{3.6 \times 10^{-5}\ \text{C}}{12\ \text{V}}$$

$$\boxed{C = 3.0 \times 10^{-6}\ \text{F} = 3.0\ \mu\text{F}}$$

لحسابِ الطاقةِ الكامنةِ أستعملُ الشكلَ البديلَ لمعادلةِ الطاقةِ للمكثِّفِ المشحونِ.

$$PE_{\text{كهربائية}} = \frac{1}{2} C(\Delta V)^2$$

$$PE_{\text{كهربائية}} = (0.5)(3.0 \times 10^{-6}\ \text{F})(12\ \text{V})^2$$

$$\boxed{PE_{\text{كهربائية}} = 2.2 \times 10^{-4}\ \text{J}}$$

تطبيق 7 (ب)

السعة

1. مكثِّفٌ سعتُه $4.00\ \mu F$ تمَّ وصلُه ببطّاريَّةٍ $12.0\ V$.
   أ. ما مقدارُ الشحنةِ التي تحملُها كلُّ صفيحةٍ؟
   ب. عندَ وصلِ المكثِّفِ ببطّاريَّةٍ $1.50\ V$، كم من الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ تُختزنُ فيه؟

2. مكثِّفٌ متوازي الصفائحِ يحملُ $6.0\ \mu C$ عندَ شحنهِ بفرقِ جُهدٍ $1.25\ V$.
   أ. جدْ سعتَه.
   ب. كم يختزنُ من الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ عندَ وصلِه ببطّاريَّةٍ $1.50\ V$؟

3. سعةُ مكثِّفٍ تساوي $2.00\ pF$.
   أ. كم يبلغُ فرقُ الجُهدِ اللازمُ لتخزينِ $18.0\ pC$؟
   ب. ما مقدارُ الشحنةِ المختزنةِ تحتَ فرقِ جُهدٍ يساوي $2.5\ V$؟

4. طُلبَ إليكَ تصميمُ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ سعتُه $1.00\ F$ والمسافةُ الفاصلةُ بينَ صفيحتَيْه $1.00\ mm$. احسُبْ مساحةَ السطحِ المطلوبةَ لكلِّ صفيحةٍ. هل ترى جوابَكَ واقعيًّا؟

مراجعةُ القسم 7-2

1. افترضْ أن الأرضَ وطبقةً من الغيمِ على ارتفاعِ $800.0\ m$ تُشكِّلان صفيحتَيْ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ.
   أ. ما سعةُ المكثِّفِ إذا كانَتْ مساحةُ طبقةِ الغيمِ $1.00 \times 10^6\ m^2$؟
   ب. إذا كانَ مقدارُ المجالِ الكهربائيِّ الذي يجعلُ الهواءَ موصِّلاً للشحنةِ (البرقِ) يساوي $2.0 \times 10^6\ N/C$، فما مقدارُ الشحنةِ التي تحملُها الغيمةُ؟
   ج. بيِّنْ ما يجبُ أن يحدثَ لجُزيئاتِ الهواءِ لتوصيلِ الكهرباءِ.

2. مساحةُ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ $2.0\ cm^2$ والمسافةُ الفاصلةُ بين صفيحتَيْه $2.0\ mm$.
   أ. احسبِ السعةَ.
   ب. ما مقدارُ الشحنةِ المختزنةِ عندَ وصلِه ببطّاريَّةٍ $6.0\ V$؟

3. سعةُ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ $1.35\ pF$. إذا تمَّ وصلُه ببطّاريَّةٍ $12.0\ V$، فما الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المختزنةُ؟

4. **تفكيرٌ ناقد** أوضحِ السببَ الذي يجعلُ الصفيحتَيْنِ المعدنيّتَيْنِ المتقاربتَيْنِ لا تكتسبانِ شحنةً، ما لم يتمَّ وصلُهما بمولِّدِ فرقِ جُهدٍ.



التيّارُ الكهربائيُّ والمقاوَمةُ
Current and Resistance

3-7 أهدافُ القسمِ

- يصفُ الخصائصَ الأساسيَّةَ للتيّارِ الكهربائيِّ ويحلُّ مسائلَ متعلِّقةً بالتيّارِ والشحنةِ والزمنِ.
- يميِّزُ بينَ سرعةِ انجرافِ حاملِ الشحنةِ ومتوسِّطِ سرعتِه بينَ التصادماتِ.
- يحسبُ المقاومةَ والتيّارَ وفرقَ الجُهدِ باستعمالِ تعريفِ المقاومةِ.
- يميِّزُ بينَ الموادِّ ذاتِ المقاومةِ الأوميَّةِ والموادِّ ذاتِ المقاومةِ غيرِ الأوميَّةِ ويتعرَّفُ العواملَ التي تؤثِّرُ في المقاوَمةِ.

التيّارُ وحركةُ الشحنةِ

بالرغمِ من أن الكهرباءَ الساكنةَ تشكِّلُ المبدأَ الأساسَ لبضعةِ تطبيقاتٍ وأجهزةٍ عمليَّةٍ، فإن الكهرباءَ لم تصبحِ الشريانَ الحيويَّ لحياتِنا اليوميَّةِ إلا بعدَ أن توصَّلَ العلماءُ إلى التحكُّمِ في حركةِ الشحنةِ الكهربائيَّةِ التي تسمّى *التيّارَ الكهربائيَّ*. فالتيّارُ الكهربائيُّ يضيءُ المصابيحَ ويشغِّلُ أجهزةَ الراديو والتلفزيون والمكيِّفاتِ والثلاّجاتِ. ويُستعملُ التيّارُ أيضًا في محرِّكاتِ السيّاراتِ والمكوِّناتِ الصغيرةِ لرقاقاتِ الحواسيبِ، فيؤدّي مهامَّ أساسيّةً لا تحصى.

استعمالاتُ التيّارِ الكهربائيِّ كثيرةٌ حتى أنه يشاركُ في وظائفِ الجسمِ البشريِّ. هذه العلاقةُ بينَ الفيزياءِ وعلمِ الأحياءِ اكتشفَها العالِمُ لويجي غالفاني (1737-1798) بينما كانَ يُجري تجاربَ كهربائيَّةً قربَ ضفدعٍ، شرَّحَهُ مؤخَّرًا. لاحظَ غالفاني أن شراراتٍ كهربائيَّةً جعلَتْ أرجُلَ الضفدعِ ترتعشُ وتتشنَّجُ. وبعدَ المزيدِ من الأبحاثِ استنتَجَ غالفاني وجودَ كهرباءَ في الضفدعِ. ندركُ في أيّامِنا هذه أن التيّاراتِ الكهربائيَّةَ هي المسؤولةُ عن نقلِ الرسائلِ بين عضلاتِ الجسمِ والدماغِ. كلُّ وظيفةٍ متعلِّقةٍ بالجهازِ العصبيِّ يطلقُها، في الحقيقةِ، نشاطٌ كهربائيٌّ.

ينتجُ تيّارٌ كهربائيٌّ كلّما توفَّرَتْ حركةٌ محصِّلةٌ لشحنةٍ كهربائيَّةٍ خلالَ وسطٍ معيَّنٍ. لتعريفٍ أدقَّ *للتيّارِ* نفترضُ أن الشحناتِ تتحرَّكُ عبرَ سلكٍ معدنيٍّ، كما يظهرُ في **الشكل 9-7**. يكونُ **التيّارُ الكهربائيُّ** electric current معدَّلَ حركةِ هذه الشحناتِ خلالَ مقطعٍ عرضيٍّ للسلك. إذا كانَتْ ΔQ كمِّيَّةَ الشحنةِ التي تعبرُ هذه المساحةَ خلالَ فترةٍ زمنيَّةٍ Δt يكونُ التيّارُ I نسبةَ كمِّيَّةِ الشحنةِ إلى الفترةِ الزمنيَّةِ. والمتَّفقُ عليه أن اتِّجاهَ التيّارِ معاكسٌ لاتِّجاهِ حركةِ الشحناتِ السالبةِ، الأمرُ الذي ستتمُّ مناقشةُ تفاصيلِه لاحقًا في القسمِ.

شدَّةُ التيّارِ الكهربائيِّ

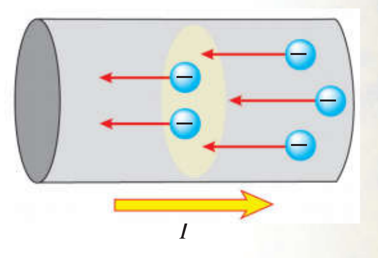
المعدَّلُ الزمنيُّ لمرورِ الشحناتِ الكهربائيَّةِ خلالَ مقطعٍ عرضيٍّ لسلك.

شدَّةُ التيّارِ الكهربائيِّ

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$\text{شدَّةُ التيّارِ الكهربائيِّ} = \frac{\text{الشحنةُ المارَّةُ خلالَ مساحةٍ معيَّنةٍ}}{\text{الفترةُ الزمنيَّةُ}}$$

وحدةُ التيّارِ في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI هي *الأمبيرُ* A. ويعادلُ أمبيرٌ واحدٌ كولومبًا واحدًا من الشحنةِ يمرُّ عبرَ مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ خلالَ فترةِ 1s من الزمنِ ($1\ A = 1\ C/s$).



الشكل 9-7
شدَّةُ التيّارِ في هذا السلكِ يعرَّفُ بأنَّهُ معدَّلُ مرورِ الشحناتِ الكهربائيَّةِ عبرَ مقطعٍ عرضيٍّ من السلكِ.

مثال 7 (ج)

التيّارُ الكهربائيُّ

المسألة

شدَّةُ التيّارِ في مصباحٍ كهربائيٍّ تساوي 0.835 A. كم من الزمنِ يستغرقُ مرورُ شحنةٍ مقدارُها 1.67 C عبرَ فتيلِ المصباحِ؟

الحــلّ

المعطى: $\Delta Q = 1.67\ \text{C}$ $\quad I = 0.835\ \text{A}$

المجهول: $\Delta t = ?$

أستعملُ تعريفَ التيّارِ الكهربائيِّ وأعيدُ ترتيبَه لأجدَ Δt.

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$\Delta t = \frac{\Delta Q}{I}$$

$$\boxed{\Delta t = \frac{1.67\ \text{C}}{0.835\ \text{A}} = 2.00\ \text{s}}$$

تطبيق 7 (ج)

التيّارُ الكهربائيُّ

1. إذا كانَتْ شدَّةُ التيّارِ في سلكِ الجهازِ الذي يشغِّلُ القرصَ المدمجَ تساوي 5.00 mA، فكم من الزمنِ يستغرقُ مرورُ شحنةٍ 2.00 C عبرَ مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ من السلكِ؟
2. شدَّةُ التيّارِ في أنبوبٍ تلفزيونيٍّ معيَّنٍ تساوي $60.0\ \mu\text{A}$. كم من الزمنِ يستغرقُ وصولُ 3.75×10^{14} من الإلكتروناتِ إلى الشاشةِ؟ (ملاحظة: $q_{\text{الكترون}} = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$)
3. سلكٌ معدنيٌّ يحملُ تيّارًا شدَّته 80.0 mA. كم من الزمنِ يستغرقُ مرورُ 3.00×10^{20} من الإلكتروناتِ عبرَ مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ من هذا السلكِ؟ (ملاحظة: $q_{\text{الكترون}} = 1.60 \times 10^{-19}\ \text{C}$)
4. يسحبُ ضاغطُ مكيِّفِ هواءٍ تيّارًا شدَّتُه 40.0 A عندَ بدءِ التشغيلِ. إذا كانَ زمنُ بدءِ التشغيلِ 0.50 s، فكم يبلغُ مقدارُ الشحنةِ التي تمرُّ في مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ من الدائرةِ الكهربائيَّةِ، خلالَ هذا الزمنِ؟
5. شحنةٌ كلّيَّةٌ مقدارُها 9.0 mC تمرُّ في مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ لسلكِ نيكروم، خلال 3.5 s.
   أ. ما شدَّةُ التيّارِ في السلكِ؟
   ب. ما عددُ الإلكتروناتِ المارَّةِ في مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ خلالَ 10.0 s؟
   ج. إذا تضاعفَ عددُ الشحناتِ خلالَ فترةٍ زمنيَّةٍ معيَّنةٍ، فما التيّارُ الذي تحدثُه؟

التيّارُ المتّفقُ عليه (الاصطلاحيُّ) وحركةُ الشحنةِ الموجبةِ

الشحناتُ المتحرِّكةُ المؤلِّفةُ للتيّارِ يمكنُها أن تكونَ موجبةً أو سالبةً، أو مزيجًا من الاثنتَيْن. في الموصِّلِ العاديِّ، النحاسيِّ مثلاً، التيّارُ ناجم عن حركةَ الإلكتروناتِ السالبةِ الشحنةِ، لأن التركيبَ الذّريَّ للموصِّلاتِ الصلبةِ يسمحُ للإلكتروناتِ بأن تنتقلَ بسهولةٍ من ذرّةٍ إلى أُخرى. والبروتوناتُ، بالمقابلِ، جسيماتٌ ثابتةٌ نسبيًّا داخلَ نواةِ الذرَّةِ. في بعضِ مسرِّعاتِ الجُسيماتِ ينشأُ التيّارُ عندَما تَدفعُ البروتوناتُ الموجبةُ الشحنةَ إلى الحركةِ. وفي حالاتٍ أخرى كحالةِ الغازاتِ والأملاحِ الذائبةِ، يكونُ التيّارُ نتيجةً لحركةِ الشحناتِ الموجبةِ في اتّجاهٍ معيَّن، والشحناتِ السالبةِ في الاتِّجاهِ المعاكسِ.

تُسمّى الشحناتُ المتحرِّكةُ، الموجبةُ والسالبةُ، في بعضِ الأحيانِ، حاملاتِ الشحنةِ. أما *التيّارُ الاصطلاحيُّ* فيُعرفُ بدلالةِ انسيابِ الشحناتِ الموجبةِ. إذن، يكونُ لحاملاتِ الشحنةِ السالبةِ، كالإلكتروناتِ مثلاً، اتّجاهٌ اصطلاحيٌّ معاكسٌ لاتّجاهِ انسيابِ الشحناتِ الموجبةِ. يظهرُ **الجدولُ 7-1** الحالاتِ الثلاثَ المحتملةَ لانسيابِ الشحنةِ. يُعتمدُ في هذا الكتابِ التيّارُ الاصطلاحيُّ (حركةُ الشحنةِ الموجبةِ) ما لم يُذكرِ العكسُ.

الجدول 7-1 التيّارُ الاصطلاحيُّ

	الحالةُ الأولى	الحالةُ الثانيةُ	الحالةُ الثالثةُ
حركةُ حاملاتِ الشحنةِ	− →	← +	← + − →
التيّارُ الاصطلاحيُّ المكافىءُ	← +	← +	← + ← +

تعلَّمتَ في القسمِ 1 من هذا الفصلِ أن المجالَ الكهربائيَّ يدفعُ الشحناتِ إلى التحرُّكِ. ولكي تكونَ المادَّةُ موصِّلةً جيِّدةً يجبُ أن تكونَ حاملاتُ الشحنةِ في هذه المادَّةِ قادرةً على التحرُّكِ بسهولةٍ عبرَ المادَّةِ. تُعدُّ عدَّةُ معادنَ موصِّلةً جيِّدةً لأنها تحتوي على عددٍ كبيرٍ من الإلكتروناتِ الطليقةِ. تستطيعُ موائعُ الجسمِ البشريِّ والماءُ المالحُ توصيلَ الشحنةِ الكهربائيَّةِ لاحتوائِهما على ذرَّاتٍ مشحونةٍ تسمّى الأيوناتِ. ولأن الأيوناتِ الذائبةَ تستطيعُ أن تتحرَّكَ خلالَ المحلولِ بسهولةٍ، فبإمكانِها أن تكونَ حاملاتِ شحنةٍ. الذائبُ في الماءِ يشكِّلُ محلولاً يوصِّلُ التيّارَ الكهربائيَّ، ويسمّى *الإلكتروليت*.

سرعةُ الانجرافِ

عندَ إدارةِ مفتاحِ الضوءِ الكهربائيِّ، ينطلقُ الضوءُ مباشرةً، ما يجعلُ بعضَ الناسِ يظنّون أن الإلكتروناتِ تتدفّقُ بسرعةٍ عاليةٍ من المقبسِ إلى المصباحِ. لكنَّ هذه ليسَتْ هي الحالَ. عندَما تديرُ المفتاحَ الكهربائيَّ، تسبِّبُ حركةُ الإلكترونِ قربَ المفتاحِ تغيُّرًا في المجالِ الكهربائيِّ. والتغيُّراتُ في المجالِ الكهربائيِّ هي التي تنتقلُ عبرَ السلكِ بسرعةٍ تقاربُ سرعةَ الضوءِ. بينما تكونُ حركةُ الشحناتِ نفسُها أبطأَ كثيرًا.

نشاط عملي سريع

الليمونةُ البطّاريَّةُ

الموادّ

- ✓ ليمونٌ حامضٌ
- ✓ سلكٌ نحاسيٌّ
- ✓ مشبكُ ورقٍ

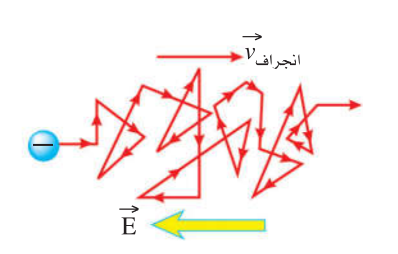
قوِّمْ مشبكَ الورقِ ليصبحَ مستقيمًا وادفعْ طرفًا منه داخلَ الليمونةِ. أدخلْ، في مكانٍ آخرَ من الليمونةِ، طرفَ السلكِ ليشكِّلا مع الليمونةِ خليةً كيميائيَّةً. تحسَّسْ بلسانِك طرفَيِ المشبكِ والسلكِ. بما أن هناكَ فرقَ جُهدٍ بين المعدنَيْن وبما أن لُعابَك هو محلولٌ إلكتروليتيٌّ موصِّلٌ للتيّارِ الكهربائيِّ، فسوفَ تشعرُ بوخزٍ خفيفٍ على لسانِك. حذارِ أن تشركَ زملاءَك بما قمْتَ به. تخلَّصْ من الموادِّ بعد استشارةِ المعلِّمِ.

سرعةُ الانجرافِ والسرعةُ المحصّلةُ لحاملاتِ الشحنةِ

لكي نرى كيفَ تتحرَّكُ الإلكتروناتُ، نأخذُ موصّلاً صُلبًا تكونُ فيه حاملاتُ الشحنةِ هي الإلكتروناتُ. في حالةِ الاتّزانِ الكهربائيِّ السكونيِّ، تتحرَّكُ الإلكتروناتُ بشكلٍ عشوائيٍّ يشبهُ حركةَ جزيئاتِ الغازِ. وعند تطبيقِ فرقِ جُهدٍ بينَ طرفَي الموصِّل، ينشأُ داخلَ الموصِّل مجالٌ كهربائيٌّ ينتجُ عنه قوةٌ تحرِّكُ الإلكتروناتِ، محدثةً بالتالي تيّارًا كهربائيًّا.

فبدلَ أن تتحرَّكَ هذه الإلكتروناتُ في خطٍّ مستقيمٍ عبرَ الموصِّل، وفي اتِّجاهٍ معاكسٍ للمجالِ الكهربائيِّ، تقومُ بتصادماتٍ متكرِّرةٍ مع ذرَّاتِ معدنِ الموصِّلِ المهتزَّةِ. إذا ما تمَّ تعقُّبُ الحركةِ ورسمُها ينتجُ من ذلك نمطٌ متعرِّجٌ معقَّدٌ شبيهٌ بالنمطِ الظاهرِ في **الشكل 10-7**. خلالَ التصادماتِ تزيدُ الطاقةُ المنتقلةُ من الإلكتروناتِ إلى ذرّاتِ الموصِّلِ من طاقةِ اهتزازِ الذرّاتِ، ما يرفعُ من درجةِ حرارةِ الموصِّلِ.

تكتسبُ الإلكتروناتُ طاقةً حركيَّةً عندَ تسارُعِها تحتَ تأثيرِ المجالِ الكهربائيِّ داخلَ الموصِّلِ. لكنَّها بالمقابلِ تفقدُ طاقةً حركيَّةً نتيجةَ التصادماتِ التي سبقَ ذكرُها. لكن وبالرغمِ من التصادماتِ الداخليَّةِ فإنَّ الإلكتروناتِ تتحرَّكُ ببطءٍ داخلَ الموصِّلِ، في اتِّجاهٍ معاكسٍ لاتِّجاهِ المجالِ الكهربائيِّ $\vec{E}$، وبسرعةٍ تُسمّى **سرعة الانجراف** drift velocity $\vec{v}_{\text{انجراف}}$.



الشكل 10-7
عندَما يتحرَّكُ إلكترونٌ خلالَ موصِّلٍ، تدفعُ التصادماتُ مع ذرّاتِ المعدنِ المهتزَّةِ الإلكترونَ لتغييرِ اتِّجاهِه بشكلٍ مستمرٍ.

سرعةُ الانجرافِ
السرعةُ المحصِّلةُ لحاملِ شحنةٍ يتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ مجالٍ كهربائيٍّ.

مقدارُ السرعاتِ الانجرافيَّةِ

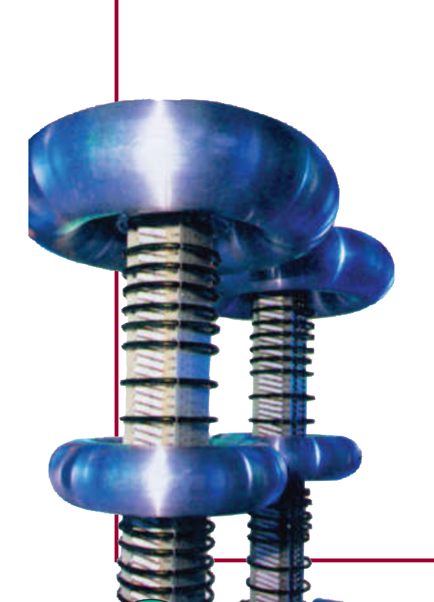
مقدارُ السرعاتِ الانجرافيَّةِ قليلٌ جدًّا. فهو، في الواقعِ، أقلُّ كثيرًا من مقدارِ متوسِّطِ السرعةِ بين التصادُماتِ. فمقدارُ سرعةِ الانجرافِ داخلَ سلكٍ نحاسيٍّ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا شدَّتُه 10.0 A، يبلغُ حوالي 2.46×10^{-4} m/s فقط. ما يعني أن هذه الإلكتروناتِ يلزمُها 68 min لتقطعَ مسافةَ 1m! في حين أن المجالَ الكهربائيَّ داخلَ السلكِ قد يصلُ إلى الإلكتروناتِ بمقدارِ سرعةٍ تقاربُ سرعةَ الضوءِ.

الفيزياءُ والحياةُ

1. المجالُ الكهربائيُّ داخلَ موصِّلٍ
استنتجْنا في دراستِنا الإلكتروستاتيكيَّةِ أن المجالَ داخلَ الموصِّلِ صفرٌ. ورأيْنا، مع ذلك، أن هناكَ مجالاً كهربائيًّا داخلَ موصِّلٍ يحملُ تيّارًا كهربائيًّا. كيفَ تُفسِّرُ إذن احتمالَ وجودِ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُهُ صفرٌ؟

2. إشعالُ الضوءِ
إذا كانَتِ الشحناتُ تنتقلُ ببطءٍ شديدٍ داخلَ المعدنِ (حوالي 10^{-4} m/s)، فلمَ لا يستغرقُ الضوءُ بضعَ ساعاتٍ ليظهرَ بعد إدارةِ المفتاحِ الكهربائيِّ؟

3. مسرِّعُ الجسيماتِ
يمكنُ استخدامُ قبّةِ مولِّدِ ڤان دي غرافِ الموجبةِ الشحنةِ، لتفريغِ البرتوناتِ الموجبةِ. ينشأُ تيّارٌ نتيجةَ حركةِ هذه البروتوناتِ. في هذه الحالةِ، كيفَ تقارنُ اتّجاهُ التيّارِ الاصطلاحيِّ مع اتّجاهِ حاملاتِ الشحنةِ؟



مقاوَمةُ التيّارِ

عندَ وصلِ مصباحٍ كهربائيٍّ ببطّاريَّةٍ، يعتمدُ التيّارُ الذي يسري في المصباحِ على فرقِ الجُهدِ بين قُطبَيِ البطّاريَّةِ. فمثلاً يكونُ التيّارُ، الذي تولِّدُه بطّاريَّةٌ 9.0 V متَّصلةٌ بمصباحٍ كهربائيٍّ، أكبرَ من التيّارِ الذي تولِّدُه بطّاريَّةٌ 6.0 V متصِّلةٌ بالمصباحِ نفسِه. لكنَّ فرقَ الجُهدِ ليسَ وحدَهُ العاملَ الذي يحدِّدُ شدَّةَ التيّارِ في المصباحِ. فالموادُّ التي تصنعُ منها أسلاكُ التوصيلِ وفتيلةُ المصباحِ لهما تأثيرٌ أيضًا على التيّارِ في المصباحِ.

بالرغمِ من أن معظمَ الموادِّ يمكنُ تصنيفُها موصِّلاتٍ أو عوازلَ، فإنَّ هناك موصِّلاتٍ تسمحُ للشحناتِ بالتحرُّكِ عبرَها، بسهولةٍ أكثرَ من غيرِها. تُسمّى ممانعةُ حركةِ الشحناتِ عبرَ الموصِّلِ **مقاوَمةً** resistance. تُعرَّفُ المقاومةُ بأنها نسبةُ فرقِ الجُهدِ إلى التيّارِ تبعًا للمعادلةِ التاليةِ:

المقاوَمةُ الكهربائيَّةُ

مقاومةُ مادَّةٍ معيَّنةٍ لمرورِ التيّارِ الكهربائيّ.

المقاوَمةُ الكهربائيَّةُ

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

$$\text{المقاوَمةُ} = \frac{\text{فرقَ الجُهدِ}}{\text{التيّارِ}}$$

تقاسُ المقاومةُ في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI بوحداتِ أوم، وتساوي فولتًا واحدًا على أمبيرٍ واحدٍ، وتُمثَّلُ بالحرفِ اليونانيِّ Ω (وتلفظُ أُميغا).

ثباتُ المقاوَمةِ على نطاقٍ معيَّنٍ من فرقِ الجُهدِ

تُظهرُ التجاربُ أن مقاوَمةَ بعضِ موادَّ للتيّارِ الكهربائيِّ، بما فيها معظمُ المعادن، كمّيَّةٌ ثابتةٌ على نطاقٍ واسعٍ من فرقِ جُهدٍ مطبَّق. يعرفُ هذا التعبيرُ بقانونِ أوم، نسبةً إلى العالِمِ الفيزيائيِّ جورج سيمون أوم (1789-1854)، أوّلَ من قامَ بدراسةٍ منهجيَّةٍ للمقاوَمةِ الكهربائيَّةِ. رياضيًّا يُكتبُ قانونُ أوم على الشكلِ التالي:

$$\frac{\Delta V}{I} = \text{ثابت}$$

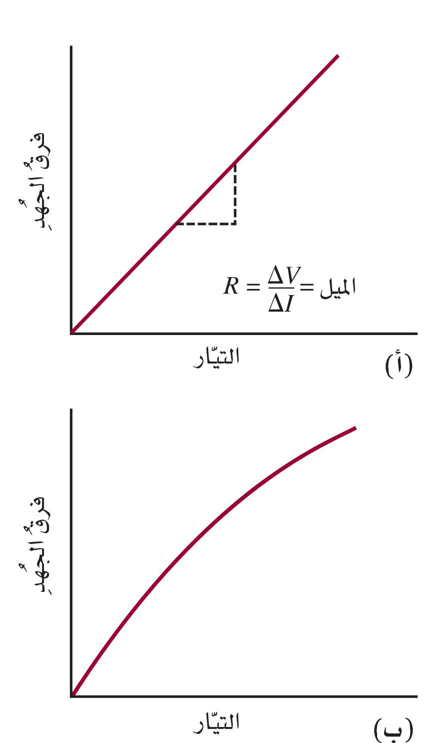
يظهرُ من مقارنةِ تعريفِ المقاومةِ مع قانونِ أوم أن ثابتَ المعادلةِ هو نفسُهُ المقاوَمة. لهذا السببِ يكتبُ عمليًّا قانونُ أوم على الشكلِ $\Delta V = IR$.

قانونُ أوم لا يطبَّقُ على جميعِ الموادِّ

لا يُعدُّ قانونُ أوم قانونًا أساسيًّا في الطبيعةِ، مثلَ قانونِ حفظِ الطاقةِ، أو قانونِ نيوتن للجذبِ العامِّ. قانونُ أوم خلافًا لذلك، يطبَّقُ على موادَّ معيَّنةٍ فقط. الموادُّ، ذاتُ المقاومةِ الثابتةِ على نطاقٍ واسعٍ من فرقِ الجُهدِ، تُسمّى مقاومةً *أوميَّةً*. ويكونُ بالتالي الرسمُ البيانيُّ (فرق الجُهد–التيار) خطّيًّا كما يظهرُ في **الشكل 11-7** (أ). والسببُ أن ميلَ الرسمِ ($\Delta V/\Delta I$) يتناسبُ طرديًّا مع المقاومةِ. عندَما تكونُ المقاومةُ ثابتةً يتناسبُ فرقُ الجُهدِ طرديًّا مع التيّارِ، وبالتالي يكونُ الرسمُ البيانيُّ خطًّا مستقيمًا.

أما الموادُّ التي لا تعملُ وفقَ قانونِ أوم فتُسمّى غيرَ *أوميَّة*. يُظهرُ **الشكلُ 11-7** (ب) رسمَ (فرق الجُهد–التيار) البيانيَّ لمادَّةٍ غيرِ أوميَّةٍ. في هذهِ الحالةِ لا يكونُ ميلُ الرسمِ البيانيِّ ثابتًا لأن المقاومةَ تتغيَّرُ، وبالتالي يكونُ الرسمُ البيانيُّ غيرَ مستقيمٍ. أحدُ الأجهزةِ غيرِ الأوميَّةِ وشبهِ الموصِّلةِ المعروفةِ، هو الدايود الثنائي.

فمقاومةُ الدايود صغيرةٌ لتيّاراتٍ في اتِّجاهٍ معيَّنٍ، وكبيرةٌ لتيّاراتٍ في اتِّجاهاتٍ معاكسة. تستعملُ الصمّاماتُ الثنائيةُ في الدوائرِ للتحكُّمِ في اتِّجاهِ التيّار. يفترضُ هذا الكتابُ أن جميعَ المقاوماتِ تعملُ طبقًا لقانونِ أوم، ما لم يُذكرِ العكسُ.



الشكل 11-7

رسمُ (فرق الجُهد – التيّار) البيانيُّ لمادَّةٍ أوميَّةٍ خطٌّ مستقيمٌ، ويساوي ميلُهُ المقاومةَ. (ب) رسمُ (فرق الجُهد – التيّار) البيانيُّ لمادَّةٍ غيرِ أوميَّةٍ ليسَ مستقيمًا.

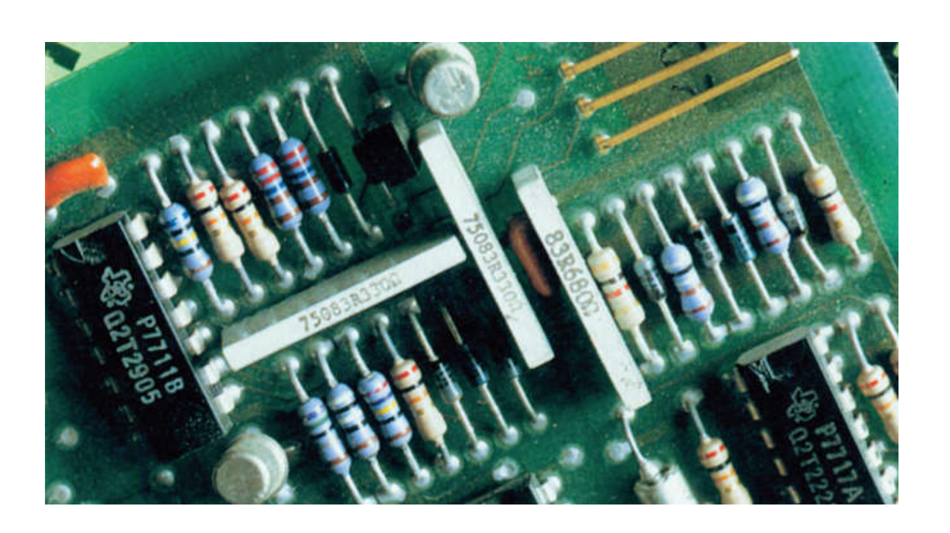
اعتمادُ المقاومةِ على الطولِ والمساحةِ ونوعِ المادَّةِ ودرجةِ الحرارةِ

ذكرْنا من قبلُ أن الإلكتروناتِ لا تتحرَّكُ في مساراتٍ مستقيمةٍ، داخلَ الموصِّلِ، بل تقومُ بتصادماتٍ متكرِّرةٍ مع ذرّاتِ المعدنِ. هذه التصادماتُ تؤثِّرُ في حركةِ الشحناتِ، كما تؤثِّرُ قوَّةُ الاحتكاكِ الداخليِّ، وتعدُّ هذه القوَّةُ أصلَ مقاومةِ المادَّةِ. هذا يعني أن العواملَ المؤثِّرةَ في عددِ التصادماتِ، تؤثِّرُ أيضًا في مقاومةِ المادَّةِ. يُظهرُ **الجدولُ 2-7** بعضَ هذه العواملِ.

اثنانِ من هذه العواملِ، وهما الطولُ ومساحةُ المقطعِ العرضيِّ، كمّيتانِ هندسيَّتان. من البديهيِّ أن يكونَ للسلكِ الأطولِ مقاومةٌ أكبرُ من السلكِ الأقصرِ. كما أن السلكَ الأعرضَ يتيحُ للشحناتِ انسيابًا أسهلَ من سلكٍ أدقَّ، كما هي حالُ الماءِ الذي ينسابُ في أنبوبٍ عريضٍ بسهولةٍ أكثرَ ممّا هو في أنبوبٍ ضيِّقٍ. أما تأثيرُ المادَّةِ فله علاقةٌ بالبناءِ الذرّيِّ لهذه المادَّةِ. أخيرًا، تزدادُ مقاومةُ معظمِ الموادِّ بارتفاعِ درجةِ حرارةِ المادَّةِ. عندما تكونُ المادّةُ حارّةً تهتزُّ ذرّاتُها بسرعةٍ، ما يعيقُ انسيابَ الإلكترونِ عبرَها.

الجدول 2-7 **العواملُ المؤثِّرةُ في المقاومةِ**

العامل	مقاومةٌ أقلُّ	مقاومةٌ أكبرُ
الطول	L_1	L_2
مساحةُ المقطعِ العرضيِّ	A_1	A_2
نوعُ المادَّةِ	نحاس	حديد
درجةُ الحرارةِ	T_1	T_2



الشكل 7-12
المُقاوِماتُ الظاهرةُ في الشكلِ، تُستعملُ للتحكُّمِ في التيّارِ الكهربائيِّ. تشيرُ الألوانُ المخطَّطةُ إلى شيفرةٍ تحدِّدُ قيمَ هذه المُقاوِماتِ.

المُقاوِماتُ والتحكُّمُ في شدَّةِ التيّارِ المارِّ في الموصِّلِ

إحدى طرائقِ تغييرِ التيّارِ في الموصِّلِ هي تغييرُ فرقِ الجُهدِ بينَ طرفَي الموصِّل. لكن، في عدَّةِ حالاتٍ ومثالُها دوائرُ المنزلِ الكهربائيَّةُ، يكونُ فرقُ الجُهدِ ثابتًا. كيف يمكنُ إذن للتيّارِ في سلكٍ معيَّنٍ أن يتغيَّرَ إذا كانَ فرقُ الجُهدِ ثابتًا؟

يفيدُ تعريفُ المقاومةِ بالتالي: إذا كانتْ ΔV ثابتةً، تنخفضُ شدَّةُ التيار بازديادِ المقاوَمةِ. إذن يمكنُ خفضُ شدَّةِ التيّار، بأن يُستبدَلَ بالسلكِ سلكٌ آخرُ أكبرُ مقاوَمةً. بالإمكانِ التوصُّلُ إلى التأثيرِ نفسِه باستعمالِ سلكٍ أطولَ، أو بتوصيلِ مقاومٍ إلى السلكِ. فالمقاوِمُ عنصرٌ كهربائيٌّ بسيطٌ يوفِّرُ مقاومةً محدَّدةً. يُظهرُ **الشكلُ 7-12** مجموعةَ مقاوِماتٍ على لوحةِ دائرةٍ كهربائيَّةٍ. عمليًّا، تستعملُ المقاوِماتُ في معظمِ الأحيانِ للتحكُّمِ في شدَّةِ التيّارِ في موصِّلٍ موصولٍ بدلاً من تغييرِ فرقِ الجُهدِ أو مواصفاتِ الموصِّلِ.

مثال 7 (د)

المقاومة

المسألة

مقاومةُ مكواةٍ بخاريَّةٍ 38 Ω. ما التيّارُ الذي يسري في المكواةِ عندَ توصيلِها بفرقِ جُهدٍ يبلغُ 220 V؟

الحــلّ

المعطى: $R = 38\ \Omega$ $\quad \Delta V = 220\ \text{V}$

المجهول: $I = ?$

أستعملُ قانونَ أوم الذي يربطُ المقاومةَ بالتيّارِ وفرقِ الجُهدِ.

$$R = \frac{\Delta V}{I}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{220\ \text{V}}{38\ \Omega} = \boxed{5.79\ \text{A}}$$

تطبيق 7 (د)

المقاومة

1. بطّاريَّةٌ 1.5 V تمَّ وصلُها بمصباحٍ مقاوَمتُه 3.5 Ω. ما شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في المصباحِ؟
2. جهازُ ستيريو مقاوَمتُه 120 Ω وفرقُ الجُهدِ بين طرفَيْه 220 V. ما شدَّةُ التيّارِ في هذا الجهازِ؟
3. احسبْ شدَّةَ التيارِ في الجهازَيْنِ التاليَيْنِ إذا كانَ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ كلٍّ منهما 220 V.
   أ. سخّانةٌ مقاوَمتُها 88 Ω
   ب. فرنُ ميكروويف مقاوَمَتُه 36 Ω
4. شدَّةُ التيّارِ في فرنِ ميكروويف 6.25 A. ما فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْه إذا كانَتِ المقاومةُ 17.6 Ω؟
5. يسحبُ تلفزيونٌ ملوَّنٌ تيّارًا شدَّتُه 2.5 A عندَما يكونُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْه 220 V. ما مقاوَمةُ التلفزيونِ الفعّالةُ؟
6. تبلغُ شدَّةُ التيَّارِ في مقاومٍ معيَّنٍ 0.50 A عندَما يكونُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْه 110 V. ما شدَّةُ التيَّارِ في المقاومِ نفسِه إذا تمَّ تشغيلُه على:
   أ. فرقِ جُهدٍ 90.0 V؟
   ب. فرقِ جُهدٍ 130 V؟

المياهُ المالحةُ والتعرُّقُ يخفِّضان مقاوَمةَ الجسمِ

مقاوَمةُ الجسمِ البشريِّ للتيّارِ الكهربائيِّ تقارب 500 000 Ω عندَما يكونُ الجلدُ جافًّا. لكنها تنخفضُ عندَما يكونُ الجلدُ رطبًا. إذا ابتلَّ الجسمُ بالماءِ المالحِ، تنخفضُ مقاومتُه إلى 100 Ω بسببِ الأيوناتِ الموجودةِ في الماءِ المالحِ، والتي توصِّلُ الشحنةَ الكهربائيَّةَ بسهولةٍ. يمكنُ لهذهِ المقاوماتِ المنخفضةِ أن تشكِّلَ خطرًا إذا تعرَّضَ طرفا الجسمِ لفرقِ جُهدٍ مرتفعٍ، وتؤدّي إلى ازديادٍ في التيّارِ الكهربائيِّ نتيجةَ انخفاضِ المقاوَمةِ.

فالتياراتُ الأقلُّ من 0.01 A قد لا تؤثِّرُ في الجسمِ أو قد يتحسَّسُها الجسمُ بشكلِ وخزٍ خفيفٍ. بينَما تسبِّبُ التيّاراتُ العُليا اضطرابًا في التنفُّسِ وقد تعطِّلُ النشاطَ الكهربائيَّ للقلبِ إن تعدَّتْ شدَّتُها 0.15 A، ما قد يؤدّي إلى الوفاةِ.

يحتوي التعرُّقُ أيضًا على أيوناتٍ موصِّلةٍ للشحنةِ الكهربائيَّةِ. ففي *الاختبارِ الغلفانيِّ* لاستجابةِ الجلدِ، والذي يُستعملُ عادةً لاختبارِ درجةِ التوتُّرِ، ويُستعملُ جزءٌ منه كاشفًا للكذبِ، يطبَّقُ فرقُ جُهدٍ صغيرٌ بين طرفَيِ الجسمِ. ومع ازديادِ التعرُّقِ نتيجةَ الإجهادِ والتوتُّرِ، تنخفضُ مقاومةُ الجسمِ. في الاختبارِ الغلفانيِّ تُعتمدُ حالةُ التوتُّرِ المنخفضِ أو المُقاومةُ العاليةُ كحالةٍ طبيعيَّةٍ مرجعيَّةٍ، تُقارنُ بها حالاتُ التوتُّرِ والإجهادِ المرتفعةُ، والتي تنعكسُ كمُقاومةٍ منخفضةٍ، مقارنةً بالحالةِ الطبيعيَّةِ.

مقاييسُ فرقِ الجُهدِ التي لها مقاومة متغيّرة

يُعدُّ مقياسُ فرقِ الجُهدِ مقاوِمًا من نوعٍ خاصٍّ، أحدُ طرفَيْه نقطةُ اتصالٍ ثابتةٌ، والطرفُ الآخرُ نقطةُ اتِّصالٍ منزلقةٌ قابلةٌ للتعديل، تسمحُ لمن يستعملُهُ بتحديدِ فروقِ جُهدٍ مختلفةٍ. أما طرفُ الاتّصالِ المنزلقُ فقد رُكِّبَ على ساقٍ دوَّارةٍ، حيث يتمُّ تعديلُ المقاوَمةِ بوساطةِ مقبضٍ دوّارٍ. لمقياسِ فرقِ الجُهدِ تطبيقاتٌ كثيرةٌ، مثالُها مفتاحُ التحكُّمِ في حجمِ الصوتِ بجهازِ الستيريو. أحدُ الأمثلةِ على مقياسِ فرقِ الجُهدِ ذي الساقِ المستقيمةِ، هو مفتاحُ خفضِ شدَّةِ الإضاءةِ. أما ذراعُ القيادةِ المستعملُ في ألعابِ الفيديو، فيُستعملُ فيه مقياسانِ لفرقِ الجُهدِ: أحدُهما للحركةِ في اتِّجاهِ x، والآخرُ للحركةِ في اتِّجاهِ y ليزوِّدا الكومبيوترَ بالتحرُّكاتِ التي تقومُ بها خلالَ اللعبِ.

مراجعةُ القسم 3-7

1. هل يمكنُ لاتِّجاهِ التيّارِ الاصطلاحيِّ أن يكونَ دائمًا مُعاكسًا لاتِّجاهِ حركةِ الشحنةِ؟ إذا صحَّ الأمرُ، فمتى يمكنُ ذلك؟

2. تمرُّ عبرَ فتيلةِ مصباحٍ كهربائيٍّ شحنةُ 3.0 C خلالَ 5.00 s.

أ. ما شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في الفتيلة؟

ب. ما عددُ الإلكتروناتِ التي تمرُّ عبرَ فتيلةِ المصباحِ خلالَ 1.0 min؟

3. ما التيّارُ الذي تسحبُه محمصةُ خبزٍ كهربائيَّةٌ، مقاومتُها 10.2 Ω، عندَ وصلِها بفرقِ جُهدٍ يساوي 220 V؟

4. يشيرُ مقياسُ شدَّةِ التيّارِ الكهربائيِّ (الأمِّيتر) إلى 2.5 A تسري في سلكٍ موصولٍ ببطّاريةٍ 9.0 V. ما مقاومَةُ السلكِ؟

5. ما وظيفةُ المقاوماتِ في لوحةِ الدائرةِ الكهربائيَّةِ؟

6. احسبْ شدَّةَ التيّارِ الذي يسري في مقاومٍ 75 Ω، عندَما يطبَّقُ بينَ طرفَيْه فرقُ جُهدٍ 115 V. كم تصبحُ شدَّةُ التيّارِ عندَما يُستبدَلُ بالمقاومِ مُقاومٌ آخرُ قيمتُه 47 Ω؟

7. **تفكيرٌ ناقد** في موصِّلٍ يسري فيه تيّارٌ، أيُّهما أقلُّ: سرعةُ انجرافِ إلكترونٍ معيَّنٍ أم متوسِّطُ سرعةِ هذا الإلكترونِ بين تصادمَيْن؟ علِّلْ جوابَك.

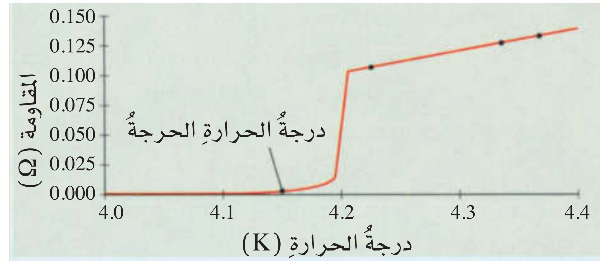
8. **تفكيرٌ ناقد** لديك نوعٌ واحدٌ فقطٌ من الأسلاكِ. إذا وصَّلْتَ بطّاريةً بمصباحٍ كهربائيٍّ، مُستعملاً هذا السلكَ، فكيف تستطيعُ خفضَ شدَّةِ التيّارِ في السلكِ؟

نافذةٌ على الموضوع

موصِّلاتٌ فائقةُ التوصيلِ

حاولْ للحظةٍ أن تتخيَّلَ أشياءَ كثيرةً يمكنُ صنعُها من موادَّ موصِّلةٍ للكهرباءِ، ومقاوَمتُها صفرٌ. يعني ذلك أنه لن يحدثَ أيُّ تسخينٍ أو خفضٍ للتيّارِ، عندَ استعمالِ موادَّ كهذهِ لتوصيلِ الكهرباءِ. هذه الموادُّ موجودةٌ، وتُسمّى *موصِّلاتٍ فائقةَ التوصيلِ* أو فوقَ الموصِّلاتِ.

مقاوَمةُ هذه الموادِّ صفرٌ عندَ درجةِ حرارةٍ أدنى من درجةِ حرارةٍ معيَّنةٍ تُسمّى *درجةَ الحرارةِ الحرجةَ*. ثمَّةَ تشابهٌ بين رسمٍ بيانيٍّ للمقاومةِ بدلالةِ درجةِ الحرارةِ لموصِّلٍ فائقِ التوصيلِ، والرسمِ البيانيِّ لمعدنٍ عاديٍّ عندَ درجةِ حرارةٍ أعلى من درجةِ الحرارةِ الحرجةِ. لكن عندَ درجةِ حرارةٍ قريبةٍ من درجةِ الحرارةِ الحرجةِ، تنخفضُ المقاوَمةُ فجأةً لتصبحَ صفرًا، كما يظهرُ في الشكلِ أدناه. يُظهرُ الرسمُ مقاوَمةَ الزئبقِ عندَ درجةِ حرارةٍ أقلَّ قليلاً أو أكثرَ قليلاً من درجةِ حرارتهِ الحرجةِ التي تساوي 4.15 K.



يوجدُ اليومَ الآلافُ من الموصِّلاتِ الفائقةِ التوصيلِ المعروفةِ، ومنها المعادنُ الشائعةُ الاستعمالِ، كالألمنيوم والقصديرِ والرصاصِ والزنكِ. لكنَّ درجةَ الحرارةِ الحرجةَ للمعادنِ المعروفةِ والمتميِّزةِ بفائقيةِ الموصليَّةِ، متدنِّيةٌ جدًّا، وتقاربُ درجةَ الصفرِ المطلقِ. فالألمنيومُ، مثلاً، يصلُ إلى فائقيَّةِ الموصليَّةِ عند 1.19 K أكثرَ قليلاً من درجةٍ واحدةٍ فوقَ درجةِ الصفرِ المطلقِ. إن درجاتِ الحرارةِ القريبةَ من درجةِ الصفرِ المطلقِ يصعُبُ تحقيقُها وإبقاؤُها، ما يسترعي الانتباهَ إلى أن معادنَ تُعدُّ موصِّلاتٍ ممتازةً للكهرباءِ، كالنحاسِ والفضَّةِ والذهبِ، ليسَتْ فائقةَ التوصيلِ عندَ درجةِ حرارةِ الغرفةِ.

التطوُّرُ المهمُّ الذي ظهرَ مؤخَّرًا في علمِ الفيزياءِ هو اكتشافُ موصِّلاتٍ فائقةِ التوصيلِ عندَ درجةِ حرارةٍ مرتفعةٍ. في عامِ 1986 نشرَ عُلماءُ في مختبرِ IBM للأبحاثِ في زوريخ–سويسرا، بحثًا يتضمَّنُ دليلاً على وجودِ فائقيَّةٍ موصليَّةٍ عندَ درجةِ حرارةٍ مرتفعةٍ قريبةٍ من 30 K. وحديثًا توصَّلَ العلماءُ إلى فائقيَّةٍ موصليَّةٍ عندَ درجةِ حرارةٍ مرتفعةٍ، مثل 150 K. لكنَّ درجةَ الحرارةِ هذه 150 K، والتي تبلغُ −123°C تبقى أبردَ كثيرًا من درجةِ حرارةِ الغرفةِ. لذا استمرَّ البحثُ عن مادَّةٍ لها ميزاتُ فائقيَّةِ الموصليَّةِ عند درجةِ حرارةِ الغرفةِ. أهمّيَّةُ هذا البحثِ تقعُ في تطبيقاتهِ العلميَّةِ والعمليَّةِ. والجديرُ بالملاحظةِ، في مزايا الموصِّلاتِ الفائقةِ التوصيلِ، أنها حالما يتمُّ سريانُ التيّارِ فيها، يستمرُّ التيّارُ حتى بعدَ أن يزولَ فرقُ الجُهدِ. في الحقيقةِ، تبيَّنَ أن التيّاراتِ الثابتةَ تبقى لعدَّةِ سنواتٍ في دوائرِ فرطِ الموصليَّةِ دونَ تضاؤلٍ ظاهريٍّ.

هذه الميزةُ للموادِّ الفائقةِ التوصيلِ تجعلُها مطلوبةً لتطبيقاتٍ متنوِّعةٍ جدًّا. وبما أن للتيّاراتِ الكهربائيةِ تأثيراتٍ مغناطيسيةً، يصبحُ بالإمكانِ استعمالُ التيّارِ في الموصِّلاتِ الفائقةِ التوصيلِ، لتعويمِ مغناطيسٍ في الهواءِ فوقَ الموصِّلِ الفائقِ التوصيلِ. هذه الظاهرةُ، المسمّاةُ ظاهرةَ مِزْنَر، تُستعملُ في القطاراتِ الفائقةِ السرعةِ، كالقطارِ الظاهرِ في الشكلِ أعلاه. هذا النوعُ من القطاراتِ يرتفعُ بضعةَ سنتيمتراتٍ فوقَ السكَّةِ.

أحدُ التطبيقاتِ المفيدةِ لفرطِ التوصيلِ هو المغانطُ الفائقةُ التوصيلِ. إذ تُستعملُ هذه المغانطُ لتخزينِ الطاقةِ. فكرةُ استعمالِ خطوطٍ قدرةٍ فائقةِ التوصيلِ لنقلِ القدرةِ الكهربائيَّةِ بفاعليَّةٍ أكبرَ، قيدَ البحثِ. وقد تمَّ صنعُ أجهزةٍ إلكترونيَّةٍ فائقةِ التوصيلِ تتألَّفُ من غشاءَيْنِ رقيقَيْنِ من الموصِّلاتِ الفائقةِ التوصيلِ، يفصلُ بينَهما عازلٌ رقيقٌ. يشملُ هذا النوعُ من الأجهزةِ جهازَ المغنيطومتر (مقياسَ شدَّةِ المجالِ المغناطيسي) وأجهزةَ ميكروويف متنوِّعةً.



هذا القطارُ السريعُ في طوكيو –اليابان يوظِّفُ ظاهرةَ مِزْنَر ليرتفعَ قليلاً فوقَ السكَّةِ فتصلُ سرعتُه إلى 225 km/h.



القدرةُ الكهربائيَّةُ
Electric Power

7-4 أهدافُ القسم

- يميِّزُ بين التيّارِ المستمرِّ والتيّارِ المتناوبِ.
- يربطُ القدرةَ الكهربائيَّةَ بمعدّلِ تحوُّلِ الطاقةِ الكهربائيَّةِ إلى أشكالٍ أخرى من الطاقةِ.
- يحسبُ القدرةَ الكهربائيَّةَ وكلفةَ تشغيلِ الأجهزةِ الكهربائيَّةِ.

مصادرُ التيّارِ الكهربائيِّ وأنواعُهُ

عندَما تفلتُ كرةٌ لتسقطَ على الأرضِ، تراها تنتقلُ من موقعٍ إلى موقعٍ أدنى، تكونُ الطاقةُ الكامنةُ الجذبيَّةُ عليه أقلَّ من الموقعِ السابقِ. أشرْنا في القسمِ السابقِ من هذا الفصلِ إلى أن سلوكَ الشحناتِ داخلَ المجالِ الكهربائيِّ شبيهٌ بسلوكِ الكرةِ داخلَ مجالِ الجذبيَّةِ. فالإلكتروناتُ الطليقةُ داخلَ موصِّلٍ، مثلاً، تتحرَّكُ عشوائيًّا إذا كانَ لجميعِ النقاطِ في الموصِّلِ الجُهدُ نفسُه. لكن، عندَ تطبيقِ فرقِ جُهدٍ على طرفَيِ الموصِّلِ، تتحرَّكُ الإلكتروناتُ من موقعِ جُهدٍ عالٍ إلى موقعِ جُهدٍ أقلَّ. يُحدثُ إذن فرقُ الجُهدِ هذا تيّارًا في الدائرةِ الكهربائيَّةِ.

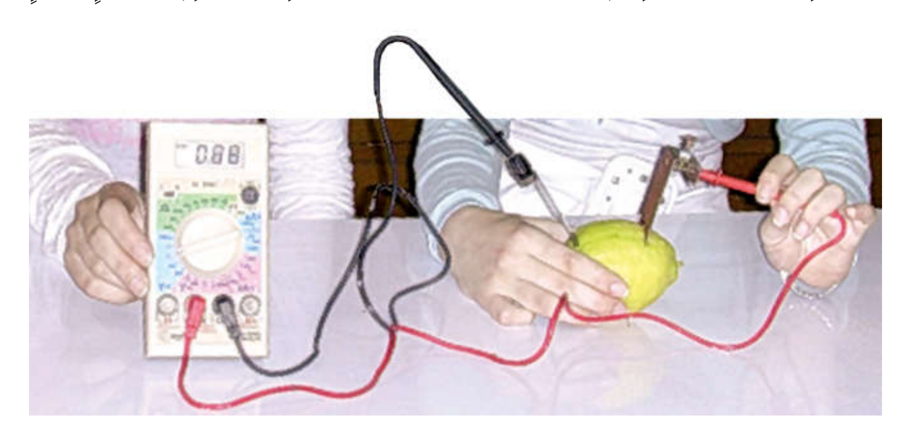
البطّاريّاتُ والمولِّداتُ تزوِّدُ حاملاتِ الشحنةِ بالطاقةِ

تحافظُ البطّارياتُ على فرقِ جُهدٍ بين قُطبَيْها من خلالِ تحويلِ الطاقةِ الكيميائيَّةِ إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ. يُظهرُ **الشكلُ 7-13** متعلِّمتَيْن تقيسان فرقَ الجُهدِ الذي تولِّدُه بطّاريَّةٌ، مستعملتَيْن الليمونَ الحامضَ والنحاسَ والقصديرَ.

عندَما ينتقلُ حاملُ الشحنةِ من موقعِ طاقةٍ كامنةٍ كهربائيَّةٍ مرتفعةٍ إلى موقعٍ أقلَّ طاقةً، تتحوَّلُ الطاقةُ إلى طاقةٍ حركيَّةٍ. تسمحُ هذه الطاقةُ بحدوثِ التصادماتِ بين الشحناتِ المتحرِّكةِ والمادَّةِ المتبقّيةِ في عناصرِ الدائرةِ. تُعيدُ هذه التصادماتُ بدورِها الطاقةَ بشكلٍ حراريٍّ إلى الدائرةِ.

تختزنُ البطّاريةُ الطاقةَ بشكلِ طاقةٍ كيميائيَّةٍ تتشكَّلُ خلالَ تفاعلٍ كيميائيٍّ يحدثُ داخلَ البطّاريَّةِ. وتستمرُّ البطّاريةُ في تزويدِ حاملاتِ الشحنةِ بالطاقةِ الكهربائيَّةِ، إلى أن تُستنفدَ طاقتُها الكيميائيَّةُ. عندَها يجبُ استبدالُ البطّاريَّةِ أو إعادةُ شحنِها.

بما أن استعمالَ البطّارياتِ يستوجبُ غالبًا استبدالَها أو شحنَها، يُفضَّلُ أحيانًا استعمالُ المولِّداتِ التي تحوِّلُ الطاقةَ الميكانيكيَّةَ إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ. أما محطةُ توليدِ الطاقةِ الهيدروكهربائيَّةِ، فإنها تحوِّلُ الطاقةَ الحركيةَ للمياهِ الساقطةِ إلى طاقةٍ كامنةٍ



الشكل 7-13
تحافظُ البطّارياتُ على تيّارٍ كهربائيٍّ من خلالِ تحويلِ الطاقةِ الكيميائيةِ إلى طاقةٍ كهربائية.

كهربائيَّةٍ. المولِّداتُ هي مصدرُ التيّارِ الكهربائيِّ المتوفِّرِ في المنزلِ، والذي يشغِّلُ أجهزتَه الكهربائيَّةَ. عندَ وصلِ جهازٍ بالمقبسِ يطبَّقُ فرقُ جُهدٍ يساوي 240V بينَ طرفَي الجهازِ.

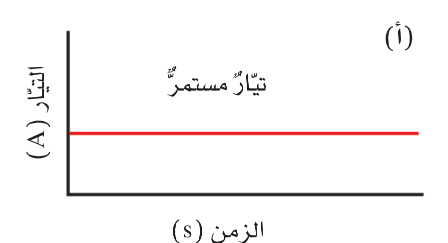
التيّارُ الكهربائيُّ، إما مُستمرٌّ وإما متناوبٌ

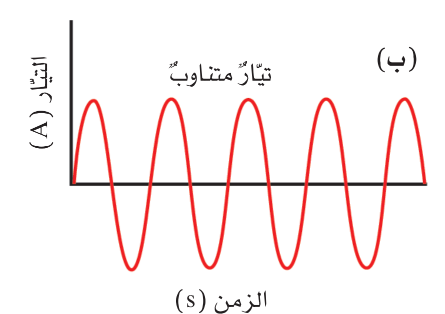
هناك نوعان من التيّاراتِ الكهربائيَّةِ: *تيّارٌ مستمرٌّ* (DC) *وتيّارٌ متناوبٌ* (AC). في التيّارِ المستمرِّ تتحرَّكُ الشحناتُ في اتِّجاهٍ واحدٍ فقط، حيث تنتقلُ الشحناتُ السالبةُ من جُهدٍ كهربائيٍّ منخفضٍ إلى جُهدٍ كهربائيٍّ مرتفعٍ. لذلك يتَّجهُ التيّارُ الاصطلاحيُّ من القُطبِ الموجبِ إلى القطبِ السالبِ للبطّاريَّةِ. في حين أن الإلكتروناتِ تتحرَّكُ فعليًّا في اتِّجاهٍ معاكسٍ للتيّارِ.

لنأخذْ مصباحًا كهربائيًّا موصولاً ببطّاريَّةٍ. بما أن فرقَ الجُهدِ بين قُطبي البطّاريةِ ثابتٌ، فإن التيّارَ الذي تولِّدُه البطّارياتُ يكونُ مستمرًّا.

في حالةِ التيّارِ المتناوبِ، تتغيَّرُ إشارةُ قُطبَيْ مولِّدٍ لفرقِ الجُهدِ بشكلٍ دائمٍ. بالتالي ليسَ هناكَ حركةٌ محصِّلةٌ لحاملاتِ الشحنةِ في التيّارِ المتناوبِ، بل اهتزازٌ إلى الأمامِ والوراءِ. إذا كانَتِ الاهتزازةُ بطيئةً ستلاحظُ وميضًا للضوءِ وتأثيراتٍ شبيهةً في الأجهزةِ الكهربائيةِ الأخرى.

لتفادي هذه المشكلةِ، يصارُ إلى جعلِ التيّارِ المتناوبِ يغيِّرُ الاتِّجاهَ بسرعةٍ فائقةٍ. في إقليمِ كوردستان-العراق يهتزُّ التيّارُ المتناوبُ 50 مرَّةً في الثانيةِ، بتردُّدٍ يساوي 50 Hz. يُقارنُ الرسمانِ البيانيَّانِ في **الشكل 14-7** بينَ التيّارَيْنِ المستمرِّ والمتناوبِ. للتيّارِ المتناوبِ إيجابيّاتُه، التي تجعلُ استعمالَه عمليًّا جدًّا في نقلِ الطاقةِ الكهربائيَّةِ. لهذا السببِ تزوِّدُكَ شركةُ الطاقةِ في المنزلِ بالتيّارِ المتناوبِ وليسَ بالمستمرِّ.





الشكل 14-7
(أ) اتِّجاهُ التيّارِ المستمرِّ لا يتغيَّرُ، بينَما (ب) يتغيَّرُ اتِّجاهُ التيّارِ المتناوبِ باستمرارٍ.

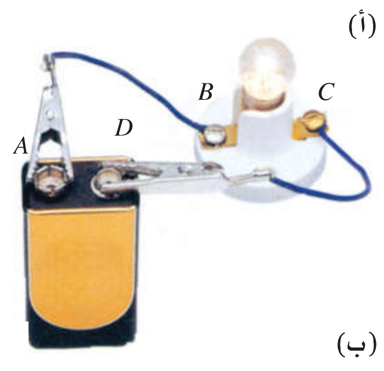
انتقالُ الطاقةِ

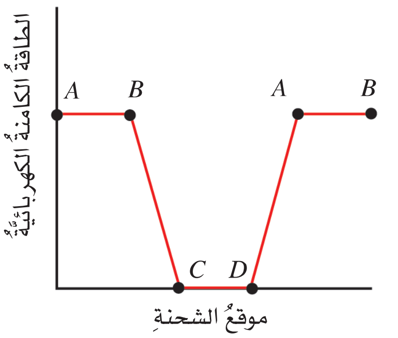
عندَ استعمالِ بطّاريةٍ لتزويدِ موصِّلٍ بتيّارٍ كهربائيٍّ. يتمُّ باستمرارٍ تحويلُ الطاقةِ الكيميائيَّةِ المختزنةِ في البطّاريَّةِ إلى الطاقةِ الكهربائيَّةِ لحاملاتِ الشحنةِ.

وعندَما تتحرَّكُ حاملاتُ الشحنةِ عبرَ الموصِّلِ تتحوَّلُ هذه الطاقةُ الكهربائيَّةُ إلى طاقةٍ داخليَّةٍ، بسببِ التصادماتِ بين حاملاتِ الشحنةِ والجسيماتِ الأخرى في الموصِّلِ.

لنأخذ، مثلاً، المصباحَ الكهربائيَّ الموصولَ بالبطّاريَّةِ، كما يظهرُ في **الشكل 15-7** (أ). افترضْ أن شحنةً Q تتحرَّكُ من قطبِ البطّاريَّةِ إلى المصباحِ، لتعودَ إلى القُطبِ الآخرِ للبطّاريَّةِ. التغيُّراتُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ تظهرُ في **الشكل 15-7** (ب). إذا أهملْنا مقاومةَ السلكِ لا يعودُ هناك فقدٌ في الطاقةِ، عندَما تتحرَّكُ الشحنةُ عبرَ السلكِ (من A إلى B). لكن عندَما تتحرَّكُ الشحنةُ عبرَ فتيلِ المصباحِ (من B إلى C)، بمقاومةٍ تفوقُ مقاومةَ السلكِ، تفقدُ الشحنةُ الطاقةَ الكامنةَ الكهربائيَّةَ، بسببِ التصادماتِ. هذه الطاقةُ الكهربائيةُ تتحوَّلُ إلى طاقةٍ داخليَّةٍ، ما يسخِّنُ الفتيلةَ ويجعلُها تشعُّ.

عندَما تعودُ الشحنةُ، أوّلاً، إلى قطبِ البطّاريَّةِ D، اصطلاحيًّا، تكونُ الطاقةُ الكامنةُ للشحنةِ صفرًا، ما يعني أن البطّاريَّةَ ينبغي أن تبذلَ جُهدًا على الشحنةِ. عندَها تتحرَّكُ الشحنةُ بين قُطبَي البطّاريَّةِ (من D إلى A)، وتزيدُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ بـ $Q\Delta V$ (حيث ΔV فرقُ الجُهدِ بين قُطبي البطّاريَّةِ). ولا بدَّ بالتالي من أن تنقصَ الطاقةُ الكيميائيَّةُ للبطّاريَّةِ بالكمّيَّةِ نفسِها.





الشكل 15-7
تغادرُ الشحنةُ البطّاريةَ عند نقطة A، وهي تحملُ كمّيَّةً معيَّنةً من الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ. تفقدُ الشحنةُ هذه الطاقةَ خلالَ تحرُّكِها من B إلى C، ثم تعودُ فتكسبُ هذه الطاقةَ عندَما تتحرَّكُ عبرَ البطّاريَّةِ من D إلى A.

القدرةُ الكهربائيَّةُ والطاقةُ الكهربائيةُ

عرَّفْنا من قبلُ القدرةَ، بشكلٍ عامٍّ، كمعدَّلٍ زمني لبذلِ الشغلِ. القدرةُ الكهربائيَّةُ إذن هي معدَّلُ الشغلِ الذي تبذلُهُ حاملاتُ الشحنةِ خلال وحدة زمن. وبصيغةٍ أخرى هي المعدَّلُ الزمني الذي تُحوِّلُ فيه حاملاتُ الشحنةِ الجُهدَ الكهربائيَّ إلى شكلٍ آخرَ من الطاقةِ.

$$P = \frac{W}{\Delta t} = \frac{\Delta PE}{\Delta t}$$

فرقُ الجُهدِ هو التغيُّرُ في الطاقةِ الكامنةِ في وحدةِ شحنةٍ.

$$\Delta V = \frac{\Delta PE}{q}$$

يُعادُ ترتيبُ المعادلةِ لتصبحَ بدلالةِ الطاقةِ الكامنةِ.

$$\Delta PE = q\Delta V$$

نعوِّضُ تعبيرَ الطاقةِ الكامنةِ في معادلةِ القدرةِ.

$$P = \frac{\Delta PE}{\Delta t} = \frac{q\Delta V}{\Delta t}$$

بما أن التيّارَ هو معدَّلُ التغيُّرِ في حركةِ الشحنةِ $(q/\Delta t)$، فإن القدرةَ الكهربائيَّةَ تصبحُ حاصلَ ضربِ التيّارِ في فرقِ الجُهدِ.

القدرةُ الكهربائيَّةُ

$$P = I\Delta V$$

القدرةُ الكهربائيَّةُ = التيّارُ × فرقِ الجُهدِ

تصفُ المعادلةُ المعدَّلَ الذي يحدِّدُ فقْدَ حاملاتِ الشحنةِ للطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ. بمعنى آخر، تساوي القدرةُ معدَّلَ تحوُّلِ الطاقةِ الكهربائيَّةِ، ويعبَّرُ عنها في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI بوحدةِ واط، (W). وبدلالةِ التبدُّدِ في الطاقةِ الكهربائيَّةِ يتكافأُ 1W من القدرةِ مع 1J من الطاقةِ الكهربائيَّةِ المتحوِّلةِ إلى أنواعٍ أخرى من الطاقةِ في ثانيةٍ من الزمنِ.

معظمُ المصابيحِ الكهربائيَّةِ مرمَّزةٌ ومرقَّمةٌ بقدراتِها الكهربائيَّةِ. فكمّيَّةُ الحرارةِ والضوءِ التي تنبعثُ من المصباحِ تتعلَّقُ بقدرةِ المصباحِ الكهربائيَّةِ، وتعرفُ بقدرةِ المصباحِ بالواط.

بما أن $\Delta V = IR$ للمُقاوَماتِ الأوميَّةِ، نستطيعُ أن نعبِّرَ عن القدرةِ المبدَّدةِ لمقاومٍ بالأشكالِ البديلةِ التاليةِ:

$$P = I\Delta V = I(IR) = I^2R$$

$$P = I\Delta V = \left(\frac{\Delta V}{R}\right)\Delta V = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

ويُسمّى تحوُّلُ الطاقةِ الكهربائيَّةِ إلى طاقةٍ داخليَّةٍ، في مادَّةٍ مقاومةٍ، *تسخينَ جول* ويشارُ إلى الفقدانِ بالتعبيرِ I^2R.

نشاط عملي سريع

استعمالُ الطاقةِ في أجهزةِ المنزلِ الكهربائيَّةِ

الموادّ

✓ ثلاثةُ أجهزةٍ كهربائيَّةٍ بسيطة كمحمصة الخبزِ، وجهازِ التلفزيون، ومصباحٍ أو جهازِ ستيريو

✓ فاتورةُ كهرباء (اختياري)

إرشاداتُ السلامة

توخَّ الحذرَ عندَ التعاملِ مع الأجهزةِ الكهربائيَّةِ.

ابحثْ عن الملصقِ الموجودِ في أسفلِ كلِّ جهازٍ. دوِّن القدرةَ بوحداتِ W. استعملِ الفاتورةَ لتتبيَّنَ كلفةَ مصروفِ الطاقةِ لكلِّ kW•h. احسبْ كلفةَ تشغيلِ كلِّ جهازٍ لساعةٍ واحدةٍ. قدِّرْ ساعاتِ التشغيلِ اليوميَّةِ. ثم احسبِ الكلفةَ الشهريَّةَ لتشغيلِ كلِّ جهازٍ، تبعًا لتقديرِ عددِ الساعاتِ اليوميَّةِ.

مثال 7 (هـ)

القدرةُ الكهربائيَّةُ

المسألة

فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ مدفأةٍ كهربائيَّةٍ يساوي 220 V. تبدِّدُ المدفأةُ قدرةً مقدارُها 1320 W بشكلِ إشعاعٍ كهرومغناطيسيٍّ وحرارةٍ. احسبْ مقاومةَ المدفأةِ.

الحـــلّ

المعطى: $\Delta V = 220 \text{ V}$ $\quad P = 1320 \text{ W}$

المجهول: $R = ?$

بما أن المعطى هو القدرةُ وفرقُ الجُهدِ، والمجهولُ هو المقاومةُ، أستعملُ معادلةَ القدرةِ التي لها شكلٌ يربطُ القدرةَ مع المتغيِّرَيْن الباقِيَيْن.

$$P = \frac{(\Delta V)^2}{R}$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلة لأحسبَ R.

$$R = \frac{(\Delta V)^2}{P} = \frac{(220 \text{ V})^2}{1320 \text{ W}} = \frac{(220)^2 \text{ J}^2/\text{C}^2}{1320 \text{ J/s}}$$

$$R = \frac{(220)^2 \text{ J/C}}{1320 \text{ C/s}} = 36.7 \text{ V/A}$$

$$\boxed{R = 36.7 \ \Omega}$$

تطبيق 7 (هـ)

القدرةُ الكهربائيَّةُ

1. محمصةٌ كهربائيَّةٌ قدرتُها 1050 W، تعملُ على فرقِ جُهدٍ يساوي 220 V. ما مقاومةُ السلكِ الذي يشكِّلُ وحدةَ التسخينِ داخلَها؟
2. رُمِّزَ جهازٌ إلكترونيٌّ صغيرٌ بالرقمِ 0.25 W عندَ تطبيقِ 220 V بين طرفَيْه. ما مقاومةُ الجهازِ؟
3. آلةٌ حاسبةٌ ذاتُ مقاومةٍ داخليَّةٍ 22 Ω، رُمِّزَتْ بالرقمِ 0.10 W. كم يبلغُ فرقُ جُهدِ البطّاريَّةِ اللازمةِ لتشغيلِ الآلةِ؟
4. سخّانٌ كهربائيٌّ يتمُّ تشغيلُه بتطبيقِ فرقِ جُهد 50.0 V بينَ طرفَيْ سلكٍ مقاومتُهُ الكلّيَّةُ 8.00 Ω. جدْ شدَّةَ التيّارِ الذي يسري في السلكِ، وقدرةَ السخّانِ.
5. ما شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في سخّانِ السؤالِ 4، إذا قصَّرْنا السلكَ لتصبحَ مقاومتُهُ 0.100 Ω؟

شركةُ الكهرباءِ واستهلاكُ الطاقةِ

القدرةُ الكهربائيَّةُ كما تمَّ تعريفُها من قبلُ، هي معدَّلُ تحوُّلِ الطاقةِ. لذا، تثمِّنُ شركاتُ الكهرباءِ الطاقةَ، وليس القدرةَ. لكنَّ وحدةَ الطاقةِ التي تستعملُها شركةُ الكهرباءِ لحسابِ استهلاكِ الطاقةِ، هي الكيلوواط–ساعة حيث 1kW•h، يساوي الطاقةَ التي تمَّ تسليمُها خلالَ 1h بمعدَّلٍ ثابتٍ يساوي 1kW. توضِّحُ المعادلةُ التاليةُ العلاقةَ بينَ الكيلوواط–ساعة ووحدةِ الطاقةِ J في النظامِ العالمي SI:

$$1\ \cancel{kW}\cdot\cancel{h} \times \frac{10^3\ W}{1\ \cancel{kW}} \times \frac{60\ \cancel{min}}{1\ \cancel{h}} \times \frac{60\ s}{1\ \cancel{min}} = 3.6 \times 10^6\ W\cdot s = 3.6 \times 10^6\ J$$

أما فاتورةُ الكهرباءِ فتُقرأُ عليها الطاقةُ المستهلَكةُ في فترةٍ زمنيةٍ معيَّنةٍ، ويعبَّرُ عنها عادةً بمضاعفاتِ الكيلوواط–ساعة. وتستعملُ شركةُ الكهرباءِ العدَّادَ الكهربائيَّ الموجودَ خارجَ كلِّ منزلٍ، لتحديدِ كمّيَّةِ الطاقةِ المستهلَكةِ خلالَ فترةٍ من الزمنِ. شركةُ الكهرباءِ إذن، لا تثمِّنُ كمّيَّةَ القدرةِ التي يتسلَّمُها المنزلُ، بل تثمِّنُ، بدلاً من ذلك، كمّيَّةَ الطاقةِ المستهلكةِ.

مراجعةُ القسم 7-4

1. ماذا يصفُ ترميزُ القدرةِ على المصباحِ الكهربائيِّ؟

2. إذا زادَتْ مقاومةُ مصباحٍ كهربائيٍّ، فكيفَ تتغيَّرُ الطاقةُ الكهربائيَّةُ التي تلزمُ المصباحَ خلالَ الفترةِ الزمنيَّةِ نفسِها؟

3. فرقُ الجُهدِ، بين طرفَيْ خليَّةٍ عصبيَّةٍ ساكنةٍ في الجسمِ البشريِّ، يساوي 70 mV، وشدَّةُ التيّارِ 200 μA تقريبًا. كم تبلغُ القدرةُ التي تطلقُها الخليَّةُ؟

4. كم تبلغُ كلفةُ مشاهدةِ مسلسلٍ علميٍّ مدَّتُه 21 h على جهازِ تلفزيونٍ أبيضَ وأسودَ، قدرتُه 90.0 W؟ افترضْ أن تكلفةَ كل 1 kW•h حوالي 15 دينارًا.

مِهَن الفيزياء

الكهربائيّ

تساعدُنا الكهرباءُ على الرؤيةِ في الليلِ وعلى طبخِ المأكولات، كما تمكّنُنا من الحصولِ على الدفءِ والمياهِ الساخنةِ والقيامِ بالاتّصالاتِ وتشغيلِ وسائلِ اللهو، وغيرِها. ومن دون الكهرباء، يصعبُ تخيُّلُ صعوبةِ الحياةِ واختلافِها. وللتعرُّفِ أكثر إلى مهنةِ الكهربائيّ، اقرأ هذه المقابلةَ مع الكهربائيِّ ديفيد أليسون.



يقومُ ديفيد أليسون بتدريسِ مهاراتِ الكهرباءِ لطلاّبه في كليّةٍ بمنطقتِه.

كيف أصبحْتَ كهربائيًّا؟

ذهبْتُ أوّلاً إلى الكليَّةِ المتوسِّطةِ لأتعلَّم كلّ شيءٍ عن الإلكترونيّات، بدءًا بأجهزةِ التلفاز والراديو وانتهاءً بمحطّاتِ الراديو والتلفاز. لكنني لم أحبَّ هذا النوعَ من العمل. خلالَ عملي لاحقًا في مصنعٍ للمفروشات، تعرَّفْتُ إلى المشرفِ على كهربائيِّ المصنعِ وبدأتُ العملَ معه. وبعدَها ساعدَني في التعرُّفِ إلى مشرفٍ كهربائيٍّ آخرَ في المدينة. معظمُ الخبرةِ حصلْتُ عليها خلال العملِ والقليلِ منها على مقاعدِ الدراسة. لم تكنْ المدارسُ المهنيَّةُ منتشرةً بشكلٍ واسعٍ في أيّامنا، لكنّها اليوم في وضعٍ أفضل.

ما الذي جعلَ العملَ في مجالِ الكهرباءِ مثيرًا للاهتمام لديك بالمقارنةِ مع المجالاتِ الأخرى؟

أحبُّ العملَ بأشياءَ لا أستطيعُ رؤيتَها ولا شمَّها، لكنّي أحسُّ بها إذا لمستُها. فإذا وصَّلْتُ المفتاحَ الكهربائيَّ، ترى النتيجة. كما أنني أستمتعُ بتوصيلِ مفاتيحِ الأمانِ والأسلاك، وأقومُ بحلِّ مشكلاتِها كافَّة.

أينَ تعملُ الآن؟

كنتُ أعملُ بمفردي منذُ العام 1989. ومنذُ ثلاثِ سنوات، عُرِضَ عليَّ التدريسِ في كليَّةٍ بمنطقتِنا. أحبُّ هذا العملَ، كما أنَّ طلاّبي يستفيدون من كوني لا أزال أعملُ في هذا المجال. عندَما أستعرضُ معهم موضوعًا ما، فإنني أتناولُهُ من واقعِ خبرتي الحديثةِ فيه. كما أنّ التدريسَ يساعدُني في البقاءِ على تماسٍّ مع مجالٍ عملي.

هل هناك أيُّ سلبيّاتٍ في عملك؟

العملُ بالكهرباءِ محفوفٌ بالمخاطرِ. لقد تسبَّبَ لي حادثان كهربائيّان بحروقٍ تعدَّت 30% من أنحاءِ جسمي. كما أنَّ ساعاتِ العملِ قد تكونُ طويلة. عندَما كنتُ أديرُ عملي الخاصَّ، كنتُ أعملُ من السادسةِ صباحًا وحتى التاسعةِ أو العاشرةِ ليلاً. كما أنّني فنّي الطوارئ في مستشفى في الجوار، وقد يستدعي ذلك حضوري في كثيرٍ من الأعياد. إلاّ أن ذلك من طبيعةِ علاقتي بزبائني.

بمَ تنصحُ طلاّبَك الذين يودّون أن يصبحوا فنّيي كهرباء؟

أنصحُهُم بزيارةِ أحدِ متعهّدي الأعمالِ الكهربائيَّةِ والتحدُّثِ إليه مليًّا، أو بمتابعةِ الدراسةِ ونيلِ شهادةٍ في هذا المجالِ من إحدى الكليّات. بعضُ الشركاتِ لديها مقرَّراتُ تدريسٍ خاصَّةٌ بها في فتراتِ المساءِ لمرَّةٍ أو أكثر في الأسبوع. الذهابُ إلى المدرسةِ يجعلُك تكتسبُ المعرفةَ التقنيَّة، إلاّ أنَّ النزولَ إلى ميدانِ العملِ هو الوسيلةُ المثلى لتحصيلِ الخبرةِ والتعلُّم.

ملخّصُ الفصل 7

مصطلحاتٌ أساسيَّةٌ

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ
Electrical potential energy (ص 206)

الجُهدُ الكهربائيُّ
Electric potential (ص 208)

فرقُ الجُهدِ
Potential difference (ص 208)

سعةُ المكثف Capacitance (ص 214)

شدَّةُ التيّارِ الكهربائيِّ
Electric current (ص 220)

سرعةُ الانجراف Drift velocity (ص 223)

المقاوَمةُ الكهربائيَّةُ Resistance (ص 224)

أفكارٌ أساسيَّةٌ

القسم 7-1 الجُهدُ الكهربائيُّ

- الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ هي طاقةُ جسمٍ مشحونٍ، بسببِ شكلِه وموقعِه في مجالٍ كهربائيٍّ.
- الجُهدُ الكهربائيُّ هو حاصلُ قسمةِ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ على الشحنةِ.
- الفروقُ في الجُهدِ الكهربائيِّ (فروقُ الجُهدِ) من موقعٍ إلى آخرَ هي وحدَها يستفادُ منها في الحساباتِ.

القسم 7-2 السعةُ الكهربائيَّةُ للمكثِّف

- السعةُ الكهربائيَّةُ C لمكثِّفٍ معيَّن هي مقدارُ الشحنةِ Q على كلِّ صفيحةٍ من صفيحتَي المكثِّفِ مقسومًا على فرقِ الجُهدِ ΔV بين الصفيحتَيْن.
- المكثِّفُ جهازٌ يستعملُ لتخزينِ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ، التي تعتمدُ على الشحنةِ وفرقِ الجُهدِ بين صفيحتَيِ المُكثِّفِ.

القسم 7-3 التيّارُ الكهربائيُّ والمقاومةُ

- شدَّةُ التيّارِ هي معدَّلُ حركةِ الشحنةِ.
- المقاومةُ تساوي فرقَ الجُهدِ مقسومًا على التيّارِ.
- تعتمدُ المقاومةُ على الطولِ ومساحةِ المقطعِ العرضيِّ ودرجةِ الحرارةِ ونوعِ المادّةِ.

القسم 7-4 القدرةُ الكهربائيَّةُ

- القدرةُ الكهربائيَّةُ هي معدَّلُ تحوُّلِ الطاقةِ الكهربائيَّةِ خلال وحدةِ الزمن.
- القدرةُ التي يبدِّدُها المقاومُ تساوي مُربَّعَ التيّارِ مضروبًا في المقاومة.
- شركاتُ الكهرباءِ تقيسُ الطاقةَ بوحداتِ kW•h (كيلوواط-ساعة).

رموزُ المتغيِّراتِ

الكمّيَّة	الرمز	الوحدة	التحويل
الطاقةُ الكامنةِ الكهربائيَّة	$PE_{\text{كهربائية}}$	جول J	$J = N\cdot m = kg\cdot m^2/s^2$
فرقُ الجُهدِ	ΔV	ڤولت V	$V = \frac{J}{C}$
السعة	C	فاراد F	$F = \frac{C}{V}$
التيّار	I	أمبير A	$A = \frac{C}{s}$
المقاومة	R	أوم Ω	$\Omega = \frac{V}{A}$
القدرةُ الكهربائيَّةُ	P	واط W	$W = \frac{J}{s}$

رموزٌ بيانيَّةٌ

مجالٌ كهربائيٌّ	$\vec{E}$
تيّارٌ كهربائيٌّ	I
شحنةٌ موجبةٌ	+
شحنةٌ سالبةٌ	−







الطاقةُ الكامنةِ الكهربائيَّةُ، وفرقُ الجُهدِ

أسئلةُ مراجعة

1. صفِ الطاقةَ الكامنةِ الكهربائيَّةَ والشغلَ والطاقةَ الحركيَّةَ، لتصفَ حركةَ شحنةٍ موجبةٍ، وُضعَتْ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ، وفسِّرْ تحوُّلاتِ الطاقةِ المتعلِّقةَ بالشحنة.

2. أُزيحَتْ شحنةٌ نقطيَّةٌ في اتِّجاهٍ عموديٍّ على مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ. أيُّ التعابيرِ التاليةِ هو الأصحُّ للتغيُّرِ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ؟

أ. $-qEd$

ب. 0

ج. $-k_C\left(\frac{q^2}{r^2}\right)$

3. ميِّزْ بينَ الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ والجُهدِ الكهربائيِّ.

4. ميِّزْ بين الجُهدِ الكهربائيِّ وفرقِ الجُهدِ.

5. اصطلاحيًّا، أيُّ موقعٍ يعتبرُ فيه الجُهدُ الكهربائيُّ لشحنةٍ نقطيَّةٍ صفرًا؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

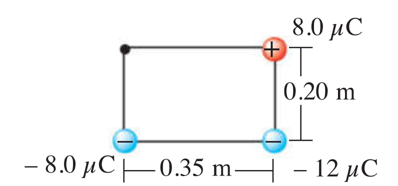
6. إذا كانَ المجالُ الكهربائيُّ في منطقةٍ معيَّنةٍ صفرًا، فهل يجبُ أن يكونَ الجُهدُ الكهربائيُّ في المنطقةِ نفسِها صفرًا أيضًا؟ علِّلْ جوابَك.

7. إذا أُفلِتَ بروتونٌ من حالةِ السكونِ في مجالٍ كهربائيٍّ منتظمٍ، فهل يزدادُ الجُهدُ الكهربائيُّ في مواقعِ البروتونِ المتغيِّرةِ، أم ينقصُ؟ ماذا يحدثُ للطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ؟

مسائلُ تطبيقيَّة

8. مقدارُ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ بينَ صفيحتَين 1.7×10^6 N/C. جِدْ فرقَ الجُهدِ بين الصفيحتَيْن إذا كانَتِ المسافةُ التي تفصلُ بينَهما 1.5 cm.

9. جِدْ في الشكلِ أدناه، الجُهدَ الكهربائيَّ على النقطةِ P، نتيجةَ تجمُّعِ الشحناتِ على زوايا المستطيلِ الأخرى.



السعةُ الكهربائيَّةُ للمكثِّفِ

أسئلةُ مراجعة

10. ماذا يحدثُ للشحنةِ على مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ، إذا تضاعفَ فرقُ الجُهدِ؟

11. ترغبُ في زيادةِ الحدِّ الأقصى لفرقِ الجُهدِ بين طرفَيْ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ. صفْ ما تقومُ به علمًا أن المسافةَ الفاصلةَ بين الصفيحتَيْن ثابتةٌ.

12. لماذا يُعدُّ سطحُ الأرضِ بتعبيرٍ كهربائيٍّ مكانًا للتأريضِ (أي وصلِ الجسمِ المشحونِ بالأرض)؟ هل يمكنُ لأيِّ جسمٍ آخرَ أن يحلَّ محلَّ الأرضِ؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

13. إذا تضاعفَ فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْ مكثِّفٍ، فبأيِّ عاملٍ تتضاعفُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المخزَّنةُ في المكثِّفِ؟

14. صفيحتانِ متوازيتانِ غيرُ مشحونتَيْن. هل لهما سعةٌ كهربائيَّةٌ؟ علِّلْ جوابَك.

15. إذا طُلبَ إليكَ تصميمُ مكثِّفٍ صغيرٍ بسعةٍ عاليةٍ، فما العواملُ التي تأخذُها في الاعتبارِ؟

16. شُحنَ مكثِّفٌ متوازي الصفائحِ، ثم فُصلَ عن البطّاريَّةِ. بكم تتغيَّرُ الطاقةُ المختزنةُ عندَ مضاعفةِ المسافةِ الفاصلةِ بينَ الصفيحتَيْن؟

17. لماذا يُعدُّ لمسُ طرفَيْ مكثِّفٍ عالي الفولتيَّةِ خطرًا حتى بعدَ فصل فرقِ الجُهد عنه؟ ما الذي يجبُ فعلُه ليصبحَ التعاملُ مع المكثِّفِ آمنًا؟

مسائلُ تطبيقيَّة

18. بطّاريةٌ 12.0 V تمَّ توصيلُها بمكثِّفٍ متوازي الصفائحِ سعتُه 6.0 pF. ما الشحنةُ التي تحملُها كلُّ صفيحةٍ؟

19. مكثّفان سعتُهما $25\ \mu F$ و $50\ \mu F$. شُحنَ كلُّ منهما على حدةٍ بمولِّدٍ 220 V. احسبِ الطاقةَ الكليَّةَ المختزنة في المكثِّفَيْن.

التيّارُ الكهربائيُّ والمقاومةُ

أسئلةُ مراجعة

20. ما المقصودُ بشدَّةِ التيّارِ الكهربائيِّ؟ وما وحدتُه في النظامِ العالميِّ للوحداتِ SI؟

21. في موصِّلٍ معدنيٍّ ينشأُ التيّارُ نتيجةَ إلكتروناتٍ تتحرَّكُ. هل يمكنُ لحاملاتِ الشحنةِ أن تكونَ موجبةً دائمًا؟

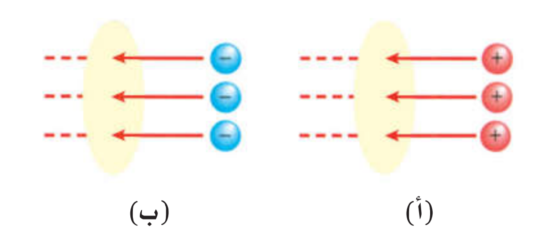
22. ماذا يعني تعبيرُ «التيّارُ الاصطلاحيُّ»؟

23. ما الفرقُ بينَ سرعةِ انجرافِ إلكترونٍ في سلكٍ معدنيٍّ، ومتوسِّطِ سرعةِ الإلكترونِ في تصادماتِه مع ذرّاتِ السلكِ المعدنيِّ؟

24. يسري تيّارٌ في سلكٍ معدنيٍّ بسببِ حركةِ الإلكترون. ارسمْ مخطَّطًا يظهرُ مسارًا محتملاً لحركةِ إلكترونٍ منفردٍ في هذا السلكِ، ومتَّجهًا للمجالِ الكهربائيِّ، واتِّجاهًا للتيّارِ الاصطلاحيِّ.

25. ما هو الإلكتروليتُ؟

26. ما الاتِّجاهُ الاصطلاحيُّ للتيّارِ الكهربائيِّ في كلٍّ من الحالتينِ التاليتَيْن؟



أسئلةٌ حولَ المفاهيم

27. في مقارنةٍ بينَ حركةِ السيرِ والتيّارِ الكهربائيِّ، ما الذي يقابلُ الشحنةَ Q ؟ ما الذي يقابلُ التيّارَ I ؟

28. هل يمكنُ للتيّارِ أن يستنفد؟ اشرحْ جوابَك.

29. لمَ تسخنُ الأسلاكُ عادةً عندَ مرورِ تيّارٍ كهربائيٍّ فيها؟

30. عندَما يوصَّلُ مصباحٌ كهربائيٌّ ببطّاريَّةٍ، تبدأُ الشحناتُ بالتحرُّكِ بشكلِ شبهِ مباشر، مع أن كلَّ إلكترونٍ يتحرَّكُ ببطءٍ شديدٍ عبرَ السلكِ. فسِّرْ سببَ الإضاءةِ السريعةِ للمصباحِ؟

31. ما سرعةُ الانجرافِ المحصِّلةِ لإلكترونٍ في سلكٍ يمرُّ فيه تيّارٌ متناوب؟

مسائلُ تطبيقية

32. كم يستغرقُ مرورُ شحنةٍ مقدارُها 10.0 C عبرَ مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ لسلكٍ نحاسيٍّ يحملُ تيّارًا شدَّتُه 5 A؟

33. تيّارٌ شدَّتُه 9.1 A يسري في مجفِّفِ الشعرِ.
أ. كم يستغرقُ مرورُ الشحنةِ 1.9×10^3 C في المجفِّفِ؟
ب. ما عددُ الإلكتروناتِ التي تحملُها هذه الشحنة؟

المقاومة

أسئلةُ مراجعة

34. ما العواملُ المؤثِّرةُ في مقاومةِ الموصِّل؟

35. جميعُ الأسلاكِ الظاهرةِ أدناه نحاسيَّةُ الصنعِ، وعندَ درجةِ الحرارةِ نفسِها. أيُّ منها الأكبرُ مقاومةً؟ وأيُّ منها الأقلُّ مقاومةً؟

(أ)

(ب)
(ج)
(د)

36. لماذا تُستعملُ المقاوِماتُ في لوحاتِ الدوائرِ الكهربائيَّةِ؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

37. ما علاقةُ فرقِ الجُهدِ بالتيّارِ إذا كانَتِ المقاومةُ ثابتةً؟

38. ما علاقةُ التيّارِ بالمقاومةِ إذا كانَ فرقُ الجُهدِ ثابتًا؟

39. وظِّفِ النظريَّةَ الذرّيَّةَ للمادَّةِ، وفسِّرْ لماذا ينبغي أن تزدادَ مقاوَمةُ المادَّةِ عندَما ترتفعُ درجةُ حرارتِها.

مسائلُ تطبيقيَّة

40. سِلكُ نيكرومٍ مقاوَمتُه $15\ \Omega$ موصولٌ بقطبَيْ بطّاريَّةٍ $3.0\ V$. كم تبلغُ شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في السِلكِ؟

41. كم تبلغُ شدَّةُ التيّارِ الذي يمرُّ في جهازِ تلفزيونٍ مقاوَمتُه $64\ \Omega$، إذا كانَ فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْه $220\ V$؟

42. كم تبلغُ شدَّةُ التيّارِ الذي يمرُّ في كلِّ مقاومٍ يظهرُ أدناه إذا كانَ موصولاً ببطّاريَّةٍ $9.0\ V$؟

(أ) $5.0\ \Omega$

(ب) $2.0\ \Omega$

(ج) $20.0\ \Omega$

القدرةُ الكهربائيَّةُ

أسئلةُ مراجعة

43. لِمَ يجبُ ضخُّ الطاقةِ إلى الدائرةِ الكهربائيَّةِ بشكلٍ مستمرٍّ من بطّاريةٍ أو مولِّدٍ، للحفاظِ على سريانِ التيّارِ الكهربائيِّ؟

44. اذكُرْ فرقَيْنِ على الأقلِّ بينَ البطّاريةِ والمولِّدِ الكهربائيِّ.

45. ما الفرقُ بينَ التيّارِ المستمرِّ والتيّارِ المتناوبِ؟ أيُّهما يسري في أدواتِ المنزلِ الكهربائيَّةِ؟

46. قارنْ بينَ القدرةِ الميكانيكيَّةِ والقدرةِ الكهربائيَّةِ.

47. ما الكمّيَّةُ الفيزيائيَّةُ التي تُقاسُ بالكيلوواط–ساعة؟ وما الكمّيَّةُ التي تُقاسُ بالكيلوواط؟

48. إذا أردْنا نقلَ الطاقةِ الكهربائيَّةِ لمسافاتٍ طويلة، فعلينا أن نأخذَ بالاعتبارِ مقاومةَ أسلاكِ التوصيلِ. لماذا؟

49. كم جولاً في الكيلوواط–ساعة؟

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

50. يعتقدُ أحدُ زملائِكَ أن البطّاريةَ تعملُ حينَ تزوِّدُ الموصِّلَ بشحناتٍ تتحرَّكُ عبرَه، فتولِّدُ تيارًا. ما الخطأُ في هذا الاعتقادِ؟

51. مصباحانِ كهربائيّان $60\ W$ و $75\ W$ يعملُ كلٌّ منهما على فرقِ جُهدٍ $220\ V$. أيُّهما يسري فيه التيّارُ الأكبرُ؟

52. موصِّلانِ لهما الطولُ والقطرُ أنفسُهما، موصولانِ عبرَ فرقِ الجُهدِ نفسِه. مقاوَمةُ أحدِهما ضعفُ مقاوَمةِ الآخرِ. أيُّهما يبدِّدُ قدرةً أكثرَ؟

53. يقدَّرُ أن لكلِّ فردٍ في دولةٍ سكّانُها حوالي مليون نسمةٍ، ساعةً كهربائيَّةً واحدةً تستهلكُ قدرةً بمعدَّلِ $2.5\ W$. كم من الطاقةِ تستهلكُ جميعُ الساعاتِ الكهربائيَّةِ في سنةٍ؟

54. عندَ توصيلِ مصباحٍ صغيرٍ ببطّاريَّةٍ، يسخُنُ الفتيلُ إلى حدٍّ يكفي لانبعاثِ أشعَّةٍ كهرومغناطيسيَّةٍ بشكلِ ضوءٍ مرئيٍّ، بينَما تبقى الأسلاكُ كما هي. ما الذي تستنتجُهُ حولَ مقاوَمتَيِ الفتيلِ والأسلاكِ؟

مسائلُ تطبيقيَّة

55. كومبيوترٌ موصولٌ بمولِّدٍ $220\ V$، يبدِّدُ $260\ W$ من القدرةِ على شكلِ أشعَّةٍ كهرومغناطيسيَّةٍ وحرارةٍ. احسبْ مقاوَمةَ الكومبيوترِ.

56. فرقُ الجُهدِ لمصباحٍ ضوئيٍّ يساوي $220\ V$. ترميزُ القدرةِ على المصباحِ $137\ W$. احسُبْ شدَّةَ التيّارِ في المصباحِ ومقاوَمةَ المصباحِ.

مراجعةٌ عامَّة

57. على مسافةٍ معيَّنةٍ من شحنةٍ نقطيَّةٍ يساوي الجُهدُ الكهربائيُّ $600.0\ V$ ومقدارُ المجالِ الكهربائيِّ $200.0\ N/C$. جِد هذه المسافةَ.

58. تبلغُ المسافةُ الفاصلةُ بينَ صفيحتَيْ مكثِّفٍ دائريٍّ متوازي الصفائحِ $3.00\ mm$. يُحدِث المكثِّفُ بعدَ شحنِهِ مجالاً كهربائيًّا منتظمًا مقدارُه $3.0 \times 10^{6}\ N/C$. ما نصفُ قطرِ الصفيحةِ المطلوبةِ لتخزينِ شحنةِ $1.0\ \mu C$–؟

59. بطّاريّةٌ 12 V استُعملَت لتزوِّدَ فرقَ جُهدٍ بينَ صفيحتَيْن معدنيَّتَيْن متوازيتَيْن تفصلُ بينَهما مسافةُ 0.30 cm. جِدْ مقدارَ المجالِ الكهربائيِّ.

60. تبلغُ مساحةُ مكثِّفٍ متوازي الصفائح $5.00\ cm^2$، ومسافةُ الفصلِ بينَ صفيحتَيْه 1.00 mm. يخزِّنُ المكثِّفُ شحنةً 400.0 pC.

أ. ما فرقُ الجُهدِ بين صفيحتَي المكثِّفِ؟

ب. ما مقدارُ المجالِ الكهربائيِّ بينَ الصفيحتَيْن؟

61. يتسارعُ بروتونٌ من السكونِ خلالَ فرقِ جُهدٍ يساوي 25 700 V. بعدَ هذا التسارعِ،

أ. ما الطاقةُ الحركيَّةُ لهذا البروتونِ؟

ب. ما سرعةُ البروتونِ؟

62. يتسارعُ بروتونٌ من السكونِ خلالَ فرقِ جُهدٍ يساوي 120 V. احسبْ سرعةَ البروتون النهائيَّةَ.

63. تفصلُ بينَ صفيحتَيْن متوازيتَيْن تحملان شحنتَيْن مختلفتَيْن مسافةُ 5.33 mm. يُطبَّقُ فرقُ جُهدٍ 600.0 V بين الصفيحتَيْن.

أ. ما مقدارُ المجالِ الكهربائيِّ بينَ الصفيحتَيْن؟

ب. ما مقدارُ القوَّةِ المؤثِّرةِ في إلكترونٍ يقعُ بين الصفيحتَيْن، على نقطةٍ تبعدُ تمامًا مسافةَ 2.90 mm عن الصفيحةِ الموجبةِ؟

ج. ما التغيُّرُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ، نتيجةَ تحريكِ الإلكترونِ من موقعِه إلى الصفيحةِ السالبةِ؟

64. تقعُ ثلاثُ شحناتٍ، ظاهرةٍ في الشكلِ، على زوايا مثلَّثٍ متساوي الساقَيْن. احسبِ الجُهدَ الكهربائيَّ على نقطةٍ في منتصفِ قاعدةِ المثلَّثِ، إذا كانَ مقدارُ كلٍّ من الشحناتِ 5.0×10^{-9} C.

65. تقعُ شحنةٌ -3.00×10^{-9} C على نقطةِ أصلٍ لنظامِ إحداثيّاتٍ، وتقعُ شحنةٌ أخرى 8.00×10^{-9} C على $x = 2.00$ m. على أيِّ موقعَيْن من محورِ x يكونُ الجُهدُ الكهربائيُّ صفرًا؟ (ملاحظة: تجدُ أحدَ الموقعَيْن بين الشحنتَيْن والآخرَ إلى يسارِ محورِ y.)

66. أُزيحَ أيونٌ عبرَ فرقِ جُهدٍ 60.0 V، ما أكسبَهُ زيادةَ 1.92×10^{-17} J من الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ. احسُبْ شحنةَ الأيونِ.

67. تسارعَ بروتونٌ عبرَ فرقِ جُهدٍ 4.5×10^{6} V.

أ. كم اكتسبَ البروتونُ من الطاقةِ الحركيَّةِ؟

ب. ما سرعةُ البروتون إذا انطلقَ من السكونِ؟

68. كلُّ صفيحةٍ من صفيحتَيْ مكثِّفٍ سعتُه 3750 pF، تحملُ شحنةً مقدارُها 1.75×10^{-8} C.

أ. ما فرقُ الجُهدِ بين الصفيحتَيْن عندَما يكونُ المكثِّفُ مشحونًا بالكاملِ؟

ب. ما مقدارُ المجالِ الكهربائيِّ بين الصفيحتَيْن اللتَيْن تفصلُ بينَهما مسافةُ 6.50×10^{-4} m؟

69. شحنةٌ مقدارُها 45 mC، تمرُّ عبرَ مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ لسلكٍ خلالَ 15 s.

أ. ما شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في السلكِ؟

ب. ما عددُ الإلكتروناتِ التي تمرُّ في مساحةِ المقطعِ العرضيِّ في 1.0 min؟

70. شدَّةُ التيّارِ في مسارِ البرقِ 2.0×10^{5} A. ما الشحنةُ التي تمرُّ في مساحةِ مقطعٍ عرضيٍّ للمسارِ، خلالَ 0.50 s، مقدرَّةً بوحدةِ C؟

71. يشعرُ الشخصُ برعشةٍ خفيفةٍ (وخز) إذا ما تجاوزَتْ شدَّةُ التيّارِ الذي يمرُّ خلالَ إبهامِهِ وسبّابتِه $80.0\ \mu$A. احسُبِ الحدَّ الأقصى المسموحَ به لفرقِ الجُهدِ، وغيرَ المسبِّبِ للرعشةِ في الحالتَيْن التاليتَيْن:

أ. مقاوَمة $4.0 \times 10^{5}\ \Omega$ لجلدٍ جافٍّ.

ب. مقاوَمة $2.0 \times 10^{3}\ \Omega$ لجلدٍ رطبٍ.

72. تلفزيونٌ ملوَّنٌ يحملُ الرمزَ 594 W لتقديرِ القدرةِ. ما مقدارُ شدَّةِ التيّارِ الذي يسري فيه، من فرقِ جُهدٍ يساوي 220 V؟

73. يعملُ أنبوبُ الأشعَّةِ السينيَّةِ المستعملُ لمعالجةِ السرطانِ على 4.0 MV بتيّارٍ شعاعيٍّ شدَّتُهُ 25 mA، يضربُ هدفًا معدنيًّا. احسُبْ قدرةَ هذهِ الحزمةِ من الشعاعِ.

74. كتلةُ ذرَّةِ ذهبٍ تساوي 3.27×10^{-25} kg. إذا ترسَّبَ 1.25 kg من الذهبِ على الإلكترودِ السالبِ لخليَّةٍ إلكتروليتيَّةٍ خلالَ 2.78 h، فما شدَّةُ التيّارِ الذي يسري في هذه الخليَّةِ، خلالَ هذه الفترةِ؟ افترضْ أن كلَّ أيونِ ذهبٍ يحملُ وحدةً أوَّليَّةً من شحنةٍ موجبةٍ.

75. عندَ تطبيقِ فرقِ جُهدٍ 220 V بين طرفَيْ جهازِ تلفزيونٍ أبيضَ وأسود، يتزوَّدُ الجهازُ بقدرةِ 90.0 W. ما كمّيَّةُ الطاقةِ الكهربائيَّةِ التي يستهلكُها الجهازُ خلالَ 1.0 h.

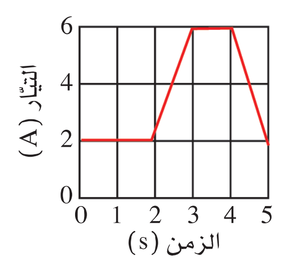
76. يسحبُ جهازُ تلفزيونٍ ملوَّنٍ تيّارًا شدَّتُه 2.5 A، عندَ تطبيقِ فرقِ جُهدٍ يساوي 220 V. كم يلزمُ من الزمنِ لكي يستهلكُ هذا الجهازُ كمّيَّةَ الطاقةِ نفسَها التي استهلكَها الجهازُ في السؤالِ 75، خلالَ 1.0 h؟

77. يحملُ مصباحا السيّارةِ الأماميّان الرمزَ 80.0 W. إذا تمَّ توصيلُهما ببطّاريةٍ مشحونةٍ بالكامل، وتحملُ الرمزَيْن 12.0 V و 90.0 Ah، فكمْ تستغرقُ البطّاريةُ من الزمنِ لتفقدَ شحنتَها كليًّا؟

78. تتغيَّرُ شدَّةُ التيّارِ في موصِّلٍ مقابلَ الزمنِ وكما يظهرُ في الشكلِ البيانيِّ أدناه.

أ. كم يبلغُ بوحدةِ C مقدارُ الشحنةِ التي تمرُّ خلالَ مقطعٍ عرضيٍّ من الموصِّلِ في الفترةِ بين $t = 0$ و $t = 5.0$ s؟

ب. احسبْ شدَّةَ التيّارِ الثابتِ اللازمِ لتفريغِ كاملِ الشحنةِ السابقةِ خلالَ 5.0 s.



79. يُعدُّ منظرُ الطيورِ المستقرَّةِ فوقَ خطوطِ قدرةٍ عاليةِ الفولتيَّةِ مألوفًا. يحملُ خطُّ قدرةٍ نحاسيٌّ معيَّنٌ تيّارًا شدَّتُه 50.0 A، وتبلغُ مقاوَمةُ الخطِّ في وحدةِ طول 1.12×10^{-5} Ω/m. إذا كانَتِ المسافةُ الفاصلةُ بين رجلَيِ الطائرِ الواقفِ على هذا الخطِّ، 4.0 cm، فما فرقُ الجُهدِ بين رجلَيْه؟

80. صُمِّمَتْ سيّارةٌ لتسيرَ بدفعٍ من مجموعةِ بطّارياتٍ فرقُ جُهدِها الكلّيُّ 12 V ومخزونُها الكلّيُّ من الطاقةِ 2.0×10^{7} J.

أ. ما شدَّةُ التيّارِ الواصلِ إلى المحرِّكِ الذي يسحبُ 8.0 kW؟

ب. إذا كانَتِ القدرةُ التي يسحبُها المحرِّكُ تساوي 8.0 kW، عندَما تكونُ سرعةُ السيّارةِ ثابتةً ومقدارُها 20.0 m/s، فكم تبلغُ المسافةُ التي تقطعُها قبلَ فقدِ الطاقةِ كلّيًّا؟

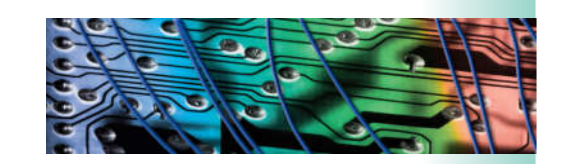
المشاريع والتقارير

1. تصوَّرْ نفسَك مُساعدًا لعالمٍ نوويٍّ يرغبُ في تسريعِ إلكتروناتٍ بين صفيحتَيْن مشحونتَيْن. صمِّمْ وارسمْ مخطَّطًا لجهازٍ من معدّاتٍ تستطيعُ تسريعَ الإلكتروناتِ حتى سرعةِ 10^{7} m/s. كم يجبُ أن يكونَ فرقُ الجُهدِ بين الصفيحتَيْن؟ كيف تتحرَّكُ البروتوناتُ داخلَ الجهازِ؟ ما الذي يجبُ أن تغيِّرَهُ لكي تصلَ سرعةُ الإلكتروناتِ إلى 100 m/s؟

2. التانتالومُ عنصرٌ يُستعملُ بكثرةٍ في صناعةِ المكثِّفاتِ الإلكترونيَّةِ. حضِّرْ بحثًا حولَ التانتالومِ وخصائصِه. أين يوجدُ في الأرضِ؟ في أيِّ شكلٍ يكونُ؟ كم ثمنُه؟ قدِّمْ نتائجَ بحثِك إلى زملائِكَ في الصفِّ، بشكلِ تقريرٍ ولوحةِ عرضٍ، أو باستعمالِ الكومبيوترِ. (مشروعٌ أو تقريرٌ مشتركٌ بينَ الفيزياءِ والكيمياءِ).

3. قمْ بزيارةٍ لأحدِ المحالِّ التي تبيعُ قطعَ غيارِ أدواتٍ كهربائيَّةٍ أو إلكترونيَّةٍ، أو ابحثْ في كاتالوجٍ مطبوعٍ أو في موقعٍ إلكترونيٍّ لتتعلَّمَ عن أنواعِ المقاوماتِ المختلفةِ. تعرَّفْ أوجهَ الشبهِ بينَ المقاومات، وممّا تُصنعُ، ومقدارَ مقاومتِها، وكيفَ ترمَّزُ ووجهةَ استعمالِها. لخِّصْ نتائجَكَ ومعلوماتِكَ على لوحةِ عرضٍ، أو كتيِّبٍ عنوانُه: دليلُ المستهلِكِ للمُقاومات.

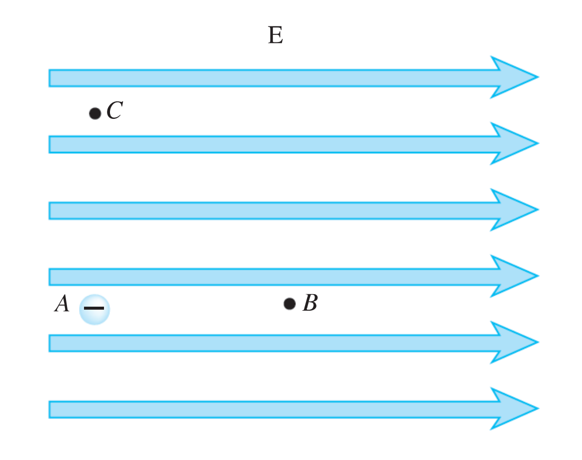
4. وحداتُ القياسِ التي تعلَّمْتَها في هذا الفصلِ كانَتْ قد أُعطيَتْ أسماءَ أربعةِ علماءٍ مشهورين، هم : أندريه ماري أمبير (A) ومايكل فاراداي (F) وجورج سيمون أوم (Ω) وأليخاندرو فولتا (V). حضِّرْ بحثًا حول حياةِ هؤلاءِ العلماءِ وأعمالِهم واكتشافاتِهم وإسهاماتِهم العلميَّةِ. قدِّمْ عرضًا حولَ أحدِ هؤلاءِ العُلماءِ، بشكلِ تقريرٍ أو لوحةِ عرضٍ أو شريطِ فيديو قصيرٍ، أو باستعمالِ برنامجٍ كومبيوترٍ.



تقويم الفصل 7

اختيارٌ من متعدِّدٍ

استندْ في إجابتِك عن السؤالَيْن 1 و 2 إلى الشكلِ أدناه:



1. ما التغيُّراتُ التي قد تطرأُ إذا تحرَّكَ الإلكترونُ من النقطةِ A إلى النقطةِ B، داخلَ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ E؟

أ. تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، ويزدادُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

ب. تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، بينما ينخفضُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

ج. تنخفضُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، وينخفضُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

د. لا الطاقةُ تتغيَّرُ، ولا الجهدُ.

2. ما التغيُّراتُ التي قد تطرأُ إذا تحرَّكَ الإلكترونُ من النقطةِ A إلى النقطةِ C داخلَ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ E؟

أ. تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، ويزدادُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

ب. تزدادُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، بينَما ينخفضُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

ج. تنخفضُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للإلكترونِ، وينخفضُ جهدُهُ الكهربائيُّ.

د. لا الطاقةُ تتغيَّرُ، ولا الجهدُ.

استندْ في إجابتِكَ عن السؤالَيْن 3 و 4 إلى المعلوماتِ التاليةِ:

بروتون ($q = 1.6 \times 10^{-19}$ C) يتحرَّكُ مسافةَ 2.0×10^{-6} m في اتِّجاهِ مجالٍ كهربائيٍّ مقدارُهُ 2.0 N/C.

3. ما التغيُّرُ في الطاقةِ الكامنةِ الكهربائيَّةِ للبروتون؟

أ. -6.4×10^{-25} J

ب. -4.0×10^{-6} V

ج. $+6.4 \times 10^{-25}$ J

د. $+4.0 \times 10^{-6}$ V

4. ما فرقُ الجُهدِ بينَ نقطةِ البدايةِ لتحرُّكِ البروتونِ ونقطةِ النهايةِ؟

أ. -6.4×10^{-25} J

ب. -4.0×10^{-6} V

ج. $+6.4 \times 10^{-25}$ J

د. $+4.0 \times 10^{-6}$ V

5. إذا تأرَّضَ (جرى توصيلُه بالأرض) القطبُ السالبُ لبطّاريَّةٍ 12 V، فكم يكونُ جُهدُ القطبِ الموجبِ؟

أ. -12 V

ب. $+0$ V

ج. $+6$ V

د. $+12$ V

6. إذا تضاعفَتْ مساحةُ الصفيحتَيْن لمكثِّفٍ متوازي الصفائحِ، بينَما انخفضَتِ المسافةُ بين الصفيحتَيْن إلى النصفِ، فما تأثيرُ ذلك في السعةِ؟

أ. تتضاعفُ السعةُ

ب. تصبحُ السعةُ أربعةَ أمثالِ ما كانَتْ عليه

ج. تنخفضُ السعةُ بعاملِ $\frac{1}{4}$

د. تبقى السعةُ بلا تغييرٍ

استندْ في إجابتِكَ عن السؤالَيْن 7 و 8 إلى المعلوماتِ التاليةِ:

فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْ مُكثِّفٍ 10.0 V، عندَما تكونُ الشحنةُ على كلِّ صفيحةٍ $40.0\ \mu C$.

7. ما سعةُ المكثِّفِ؟

أ. 2.00×10^{-4} F

ب. 4.00×10^{-4} F

ج. 2.00×10^{-6} F

د. 4.00×10^{-6} F

8. كم تبلغُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المختزنةُ في المكثِّفِ؟

أ. 2.00×10^{-4} J

ب. 4.00×10^{-4} J

ج. 3.00×10^{-6} J

د. 4.00×10^{-6} J

9. كم تستغرقُ شحنةٌ 5.0 C لتمرَّ عبرَ مقطعٍ عرضيٍّ لسلكٍ نحاسيٍّ يسري به تيّارٌ شدَّتُهُ 5.0 A؟

أ. 0.20 s

ب. 1.0 s

ج. 5.0 s

د. 25 s

10. فرقُ جُهدٍ مقدارُهُ 12 V يُحدثُ في قطعةِ سلكٍ نحاسيٍّ تيّارًا شدَّتُهُ 0.40 A. ما مقاوَمةُ السلكِ؟

أ. 4.8 Ω

ب. 12 Ω

ج. 30 Ω

د. 36 Ω

11. ما مقدارُ الطاقةِ المبدَّدةِ بالجول (J) في مصباحٍ قدرتُهُ 50.0 W خلالَ 2.00 s؟

أ. 25.0 J

ب. 50.0 J

ج. 100 J

د. 200 J

12. ما القدرةُ التي تلزمُ لتشغيلِ راديو يسحبُ 5.0 A، عندَما يُطبَّقُ بينَ طرفَيْه فرقُ جُهدٍ يساوي 220 V؟

أ. 6.1×10^{-2} W

ب. 2.3×10^{0} W

ج. 1.6×10^{1} W

د. 11×10^{2} W

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرة

13. تتحرَّكُ إلكتروناتٌ في سلكٍ من اليسارِ إلى اليمينِ، لا تتحرَّكُ أيُّ جُسيماتٍ مشحونةٍ أخرى في السلكِ. ما اتِّجاهُ التيّارِ الاصطلاحيِّ؟

14. ما سرعةُ الانجرافِ؟ وكيفَ تُقارَنُ مع السرعةِ التي يسري بها التيّارُ الكهربائيُّ في السلكِ؟

15. اذكرْ أربعةَ عواملَ قد تؤثِّرُ في مقاوَمةِ السلكِ.

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلَة

16. مكثِّفٌ متوازي الصفائحِ مصنوعٌ من صفيحتَيْن دائريَّتَيْن، قطرُ كلٍّ منهما 2.50×10^{-3} m، وتفصلُ بينَهما مسافةُ 1.40×10^{-4} m.

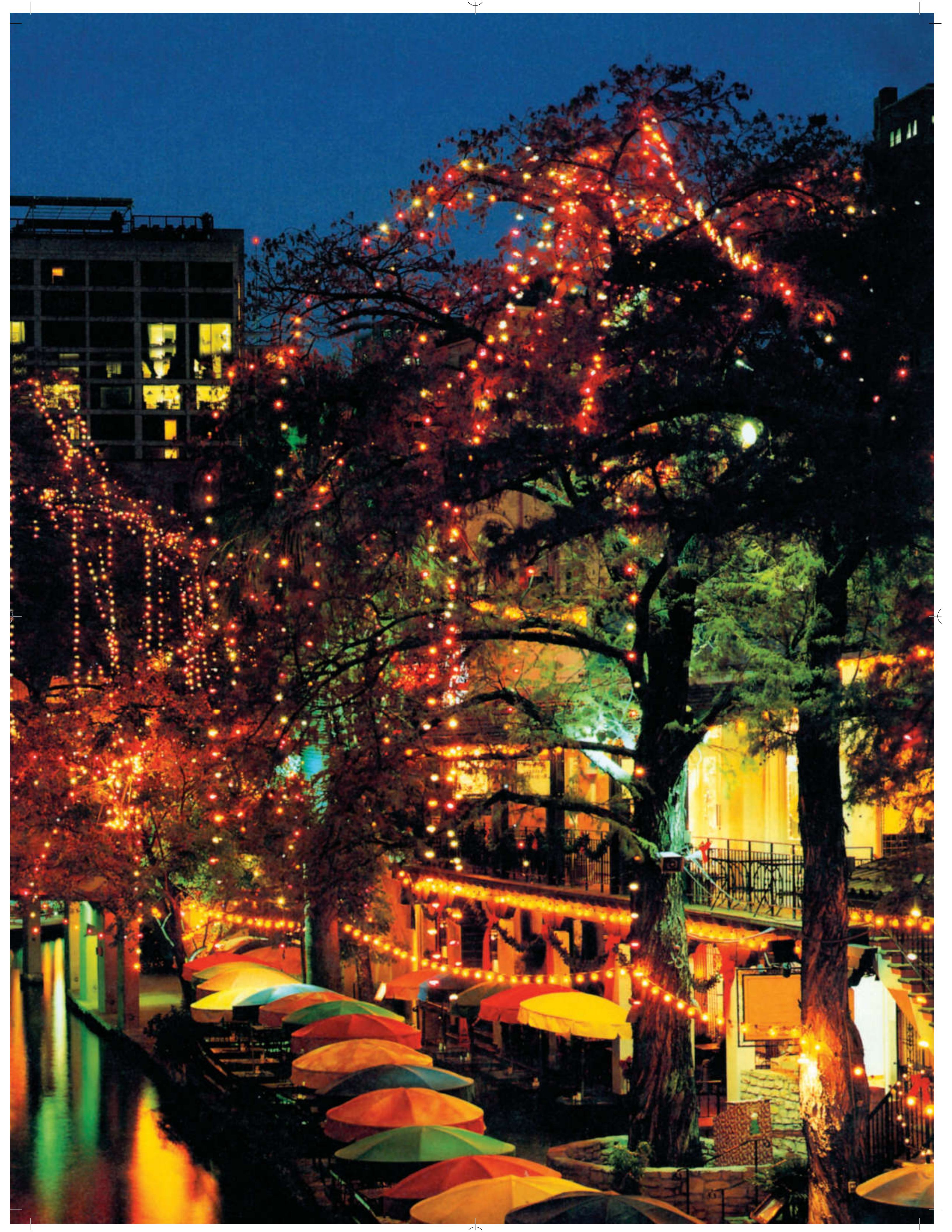
أ. افترضْ أن المكثِّفَ يعملُ في الفراغِ، وأن ثابتَ عازليَّةِ الفراغِ $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ C^2/N{\bullet}m^2$ يمكنُ استعمالُها، احسبْ سعةَ المكثِّفِ.

ب. كم من الشحنةِ يتخزَّنُ على كلِّ صفيحةٍ إذا تمَّ وصلُ المكثِّفِ بفرقِ جُهدٍ يساوي 0.12 V؟

ج. ما الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المختزنةُ في المكثِّفِ بعد شحنهِ بالكاملِ بفرقِ الجُهدِ 0.12 V؟

د. ما فرقُ الجُهدِ بينَ نقطةٍ تتوسَّطُ المسافةَ بين الصفيحتَيْن ونقطةٍ تبعدُ 1.10×10^{-4} m عن إحداهما؟

هـ. إذا أزلْنا فرقَ الجُهدِ 0.12 V من الدائرةِ وسمحْنا للمكثِّفِ بفقدِ الشحنةِ حتى % 70.7 من قيمةِ الشحنِ الكاملةِ، فكم يصبحُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيِ المكثِّفِ؟



الفصل 8

الدوائرُ الكهربائيَّةُ والمقاومات

Circuits and Circuit Elements



أضواءُ الزينةِ التي نراها في المناسباتِ، يُستعملُ فيها نوعانِ من الدوائرِ الكهربائيَّةِ: دائرةُ التوالي الظاهرةُ في الشكلِ التي تنطفئُ مصابيحُها جميعًا، إذا ما أزيلَ أحدُ المصابيحِ من الدائرةِ. أما دائرةُ التوازي، والظاهرةُ في الشكلِ أيضًا، فالأضواءُ تبقى مشعَّةً فيها حتى لو أزيلَ من الدائرةِ مصباحٌ أو أكثرُ.



ما يُتوقَّعُ تحقيقُهُ

تستكشفُ في هذا الفصلِ الخصائصَ الأساسيَّةَ لدوائرِ التوالي ودوائرِ التوازي الكهربائيَّةِ.

ما أهمِّيَّتُه

تُوصَّلُ جميعُ الدوائرِ الكهربائيَّةِ على التوالي أو على التوازي أو على الطريقتَيْنِ معًا. يؤثِّرُ نوعُ الدائرةِ على التيّارِ، وفرقِ الجُهدِ بينَ طرفَي العناصرِ الموصولةِ في الدائرةِ كمصابيحِ الزينةِ أو مصابيحِ الإنارةِ في المنزلِ.

محتوى الفصل 8



الرسومُ التخطيطيَّةُ والدوائرُ الكهربائيَّةُ

Schematic Diagrams and Circuits

1-8 أهدافُ القسم

- يفسِّرُ ويصمِّمُ رسومًا تخطيطيةً لدائرةٍ كهربائيَّةٍ.
- يتبيَّنُ الدوائرَ المفتوحةَ والدوائرَ المغلقةَ.
- يستخلصُ فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ حملٍ في دائرةٍ، وبينَ قُطبَيْ بطاريَّةٍ.

الرسمُ التخطيطيُّ

رسمٌ للدائرةِ التي تستعملُ خطوطًا لتمثيلِ الأسلاكِ، ورموزًا مختلفةً لتمثيلِ مكوِّناتٍ أُخرى للدائرةِ.

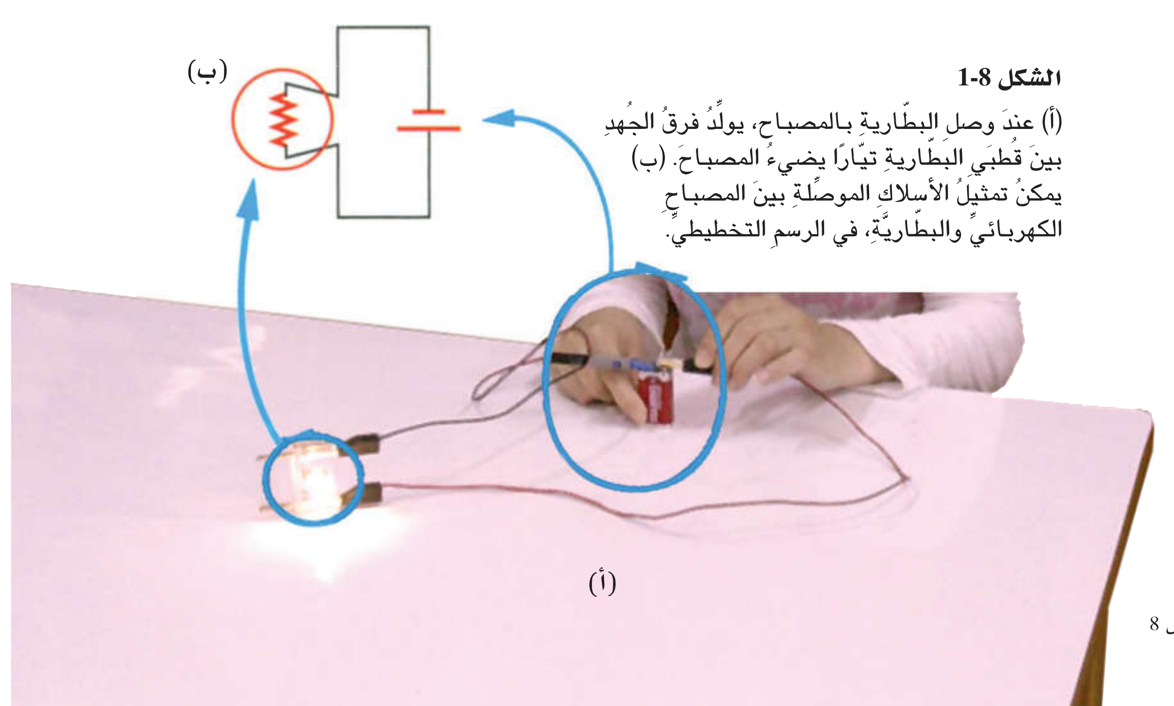
رسومٌ تخطيطيَّةٌ (رسومٌ تمثيليَّةٌ)

تفحَّصْ لبضعِ دقائقَ البطّاريَّةَ والمصباحَ في **الشكل 1-8** (أ) ثم ارسُمْ مخطَّطًا لكلِّ عنصرٍ ظاهرٍ في الصورةِ، مع توصيلاتِه. هل من السهلِ لشخصٍ آخرَ تفسيرُ رسمِكَ التخطيطيِّ؟ هل يمكنُ أن تُستعملَ العناصرُ في رسمِكَ لوصفِ خيطِ أضواءِ الزينةِ التي تزيِّنُ الأشجارَ في بعضِ المناسباتِ؟

يُسمّى الرسمُ الذي يصفُ بنيةَ جهازٍ كهربائيٍّ رسمًا **تخطيطيًا أو تمثيليًا** schematic diagram. المخطَّطُ الظاهرُ في **الشكل 1-8** (ب) تُستعملُ فيه رموزٌ لتمثيلِ المصباحِ الكهربائيِّ والبطّاريةِ والسلكِ الموصِّلِ من **الشكل 1-8** (أ). لاحظْ أن هذه الرموزَ يمكنُ استعمالُها هي نفسُها في أيِّ جهازٍ كهربائيٍّ. بهذهِ الطريقةِ يستطيعُ أيُّ مطَّلعٍ على مجموعةِ الرموزِ المعياريةِ قراءةَ الرسومِ التمثيليَّةِ.

تسمحُ لنا قراءةُ الرسومِ التمثيليَّةِ أن نعرفَ كيف تمَّ ترتيبُ أجزاءِ الجهازِ الكهربائيِّ. تتعرَّفُ في هذا الفصلِ كيفَ يؤثِّرُ ترتيبُ المقاوماتِ في جهازٍ كهربائيٍّ على شدَّةِ التيّارِ وفرقِ الجُهدِ بين طرفَيْ عناصرَ أخرى في الجهازِ. تُعدُّ القدرةُ على تفسيرِ الرسومِ التخطيطيَّةِ لمعدّاتٍ وأجهزةٍ كهربائيَّةٍ، مهارةً أساسيَّةً لحلِّ المسائلِ المتعلِّقةِ بالكهرباءِ.

يظهرُ في **الجدولِ 1-8** أن كلَّ عنصرٍ يُستعملُ في المعدّاتِ الكهربائيَّةِ، يتمثَّلُ برمزٍ في الرسومِ التمثيليَّةِ التي تعكسُ تصميمَ العنصرِ أو وظيفتَه. تلاحظُ أن **الجدولَ 1-8** يتضمَّنُ أشكالاً أخرى لرموزِ الرسومِ التمثيليَّةِ؛ تلك الرموزُ البديلةُ لن تستعملَ في الكتابِ.

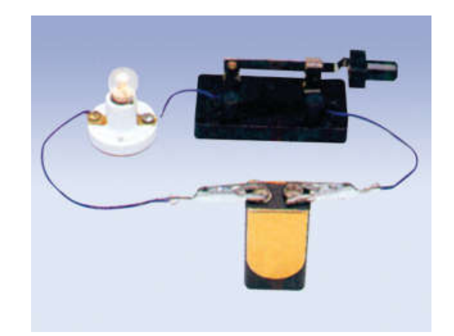


الشكل 1-8

(أ) عندَ وصلِ البطّاريةِ بالمصباحِ، يولِّدُ فرقُ الجُهدِ بينَ قُطبَي البطّاريةِ تيّارًا يضيءُ المصباحَ. (ب) يمكنُ تمثيلُ الأسلاكِ الموصِّلةِ بينَ المصباحِ الكهربائيِّ والبطّاريَّةِ، في الرسمِ التخطيطيِّ.

الجدول 1-8 رموزُ الرسومِ التمثيليَّةِ

العنصر	الرمزُ المستعملُ في الكتابِ	أشكالٌ أُخرى للرمزِ	توضيح
سلكٌ أو موصِّلٌ			• الأسلاكُ التي توصِّلُ العناصرَ هي موصِّلاتٌ أو نواقلُ. • بما أن مقاوَمةَ الأسلاكِ مهملةٌ، فإنها تُمثَّلُ بخطوطٍ مستقيمةٍ.
مقاوِمٌ أو حملُ الدائرة			• تظهرُ المقاومِاتُ بشكل التواءاتٍ متعدِّدةٍ لتوضحَ مقاوَمةَ حركاتِ الشحناتِ.
مصباحٌ كهربائيٌّ			• التواءاتُ الفتيلةِ المتعدِّدةُ تدلُّ على أن المصباحَ الكهربائيَّ يقومُ بوظيفةِ مقاومٍ. • يُطوَّقُ رمزُ فتيلِ المصباحِ عادةً بحلقةٍ ليؤكِّدَ وجودَ المقاومِ داخلَ المصباحِ.
قابس			• رمزُ القابسِ يشبهُ وعاءً لشعبتَيْن. • القوةُ المحرِّكةُ الكهربائيَّةُ بينَ شعبتَي القابسِ تُرمَّزُ بخطَّيْن مختلفَي الطولِ.
بطّاريَّة		خلايا متعدِّدةٌ	• التباينُ في طولِ الخطِّ يشيرُ إلى فرقِ جُهدٍ بين القطبَيْن الموجبِ والسالبِ للبطّاريَّةِ. • الخطُّ الأطولُ يمثِّلُ القطبَ الموجبَ للبطّاريَّةِ.
مفتاح/قاطع مفتوح مغلق	مفتوح مغلق		• الدائرتانِ الصغيرتانِ تُشيران إلى الموقعَيْن اللذَيْن يتَّصلُ بهما المفتاحُ بالأسلاكِ. يقومُ المفتاحُ بفصلِ التماسِّ عن موقعٍ واحدٍ فقط، وليسَ عن الموقعَيْن.
مكثِّف			• تُرمَّزُ صفيحتا المكثِّفِ المتوازيتان بخطَّيْن متوازيَيْن متساويي الطولِ. • يشيرُ خطٌّ منحنٍ واحدٌ إلى إمكانيَّةِ استعمالِ تيّارٍ مستمرٍّ فقط في المكثِّفِ بالقطبيَّةِ الظاهرةِ.



الشكل 2-8

عند وصل جميع المكوّناتِ الكهربائيَّةِ، تستطيعُ الشحناتُ التحرُّكُ بسهولة. كما أن حركةَ الشحناتِ في الدائرةِ تتوقَّفُ عند فتحِ الدائرةِ.

الدائرةُ الكهربائيَّةُ

مجموعةٌ من المكوِّناتِ الكهربائيَّةِ المتَّصلةِ بشكلٍ يوفِّرُ مسارًا كاملاً أو أكثر، لحركةِ الشحناتِ.

الدوائرُ الكهربائيَّةُ

فكِّرْ كيف تجعلُ المصباحَ، الظاهرَ في الشكل، يضيء. هل يبقى المصباحُ مضيئًا بعد فتحِ الدائرةِ؟

يعملُ فتيلُ المصباحِ الكهربائيِّ كمقاومٍ. عندما يصلُ سلكُ المصباحِ الكهربائيِّ بين قطبَي البطاريَّةِ، كما يظهرُ في **الشكل 8-2**، تبدأُ الشحناتُ المتراكمةُ على أحدِ القطبَيْن بالتحرُّكِ على مسارٍ لتصلَ إلى الشحناتِ المعاكسةِ على القطبِ الآخرِ. تسبِّبُ حركةُ الشحناتِ تيّارًا في السلكِ. وبالتالي، يجعلُ الفتيلَ يسخنُ ويضيء. يشكِّلُ المصباحُ والبطّاريةُ والمفتاحُ معًا **دائرةً كهربائيَّةً** electric circuit. إنها المسارُ الذي تعبرُهُ الشحناتُ. كما يُسمّى الرسمُ التخطيطيُّ للدائرةِ، أحيانًا الرسمَ *التمثيليَّ للدائرةِ*.

في الدائرةِ الكهربائيَّةِ يُعطى العنصرُ الذي تظهرُ فيها طاقةٌ حراريَّةٌ، أو مجموعةً من العناصرِ، اسمَ *حِمْلِ الدائرةِ*. تتألَّفُ الدائرةُ البسيطةُ من مصدرٍ كهربائيٍّ له فرقُ جُهدٍ وطاقةٌ كهربائيَّةٌ، كالبطّاريَّةِ، وحمل، كالمصباحِ أو مجموعةِ مصابيحَ. وبما أن مقاومةَ سلكِ التوصيلِ والمفتاحِ مهملةٌ فلن نعتبرَها جزءًا من الحِملِ.

يوجدُ في **الشكل 8-2** فرقُ جُهدٍ، لأن المسارَ الخارجيَّ بين قطبَيِ البطّاريَّةِ كاملٌ. وبالتالي تتحرَّكُ الإلكتروناتُ من طرفٍ إلى آخرَ على مسارٍ حلقيٍّ مغلق، يُسمّى *الدائرةَ المغلقةَ*. للحصولِ على تيّارٍ منتظم، يجبُ أن يكونَ مفتاحُ الدائرةِ في الشكلِ مغلقًا.

ما لم يكنِ المسارُ كاملاً فإن الشحنةَ لا تسري في الدائرةِ، وبالتالي لا وجودَ للتيّارِ الكهربائيِّ. تُسمّى الدائرةُ في هذه الحالةِ *دائرةً مفتوحةً*. بما أن مفتاحَ الدائرةِ في **الشكل 8-2** مفتوحٌ، فإن الدائرةَ، كما يظهرُ في **الجدول 8-1**، مفتوحةٌ إذن، وليسَ هناك بالتالي تيّارٌ ليضيءَ المصباحَ.

الفيزياءُ والحياةُ

1. **طائرٌ على سلكٍ** كيف يستطيعُ الطائرُ أن يحطَّ على خطِّ جُهدٍ عالٍ دون أن تصعقَه الكهرباءُ؟ (ملاحظة: خذْ في الاعتبارِ فرقَ الجُهدِ بين قدمَيِ الطائرِ.)

2. **مظليٌّ على سلكٍ** افترضْ أن مظليًّا حطَّ على خطِّ جُهدٍ عالٍ، ثم أمسكَ بالسلكِ في محاولةٍ لإنقاذِ نفسِه. هل يتكهربُ المظلِّيُّ؟ إذا انقطعَ السلكُ، لم يتحتَّمْ على المظليِّ إفلاتَه قبل أن يصلَ السلكُ إلى الأرض (ملاحظة: خذ في الاعتبارِ فرقَ الجُهدِ بين يدي المظلِّيِّ الممسكتَيْن بالسلكِ وفرقَ الجُهدِ بين السلكِ والأرض.)

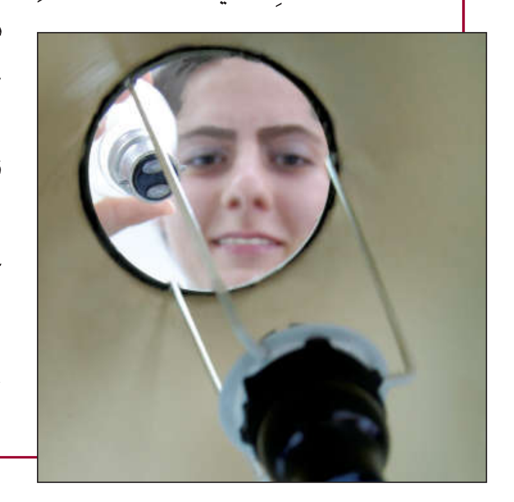


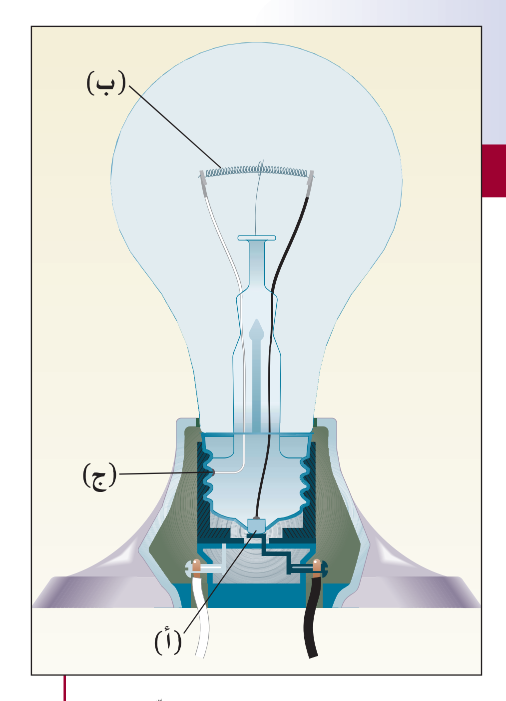
نافذةٌ على الموضوع
المصابيحُ الكهربائيَّةُ

كيفَ يمكنُ لمصباحٍ كهربائيٍّ أن يحتويَ على مسارٍ موصِّلٍ كاملٍ؟ عندما تنظرُ إلى مصباحٍ شفَّافٍ ترى داخلَه فتيلاً ملتويًا. يشكِّلُ الفتيلُ جُزءًا من المسارِ الموصِّلِ للدائرةِ. فبينَما يُدفعُ المصباحُ لولبيًّا داخلَ مقبسٍ فرديٍّ، يظهرُ أن هناك موقعَ تماسٍّ فرديًّا، هو الجزءُ الدائريُّ في قاعدةِ المصباحِ. لكنَّ تفحُّصًا دقيقًا للمقبسِ، يُظهرُ وجودَ نقطتَيْ تماسٍّ في الداخلِ. تقعُ إحدى النقطتَيْنِ في قاعدةِ المقبسِ، وهي موصولةٌ بسلكٍ يتَّصلُ بدورِه بأحدِ طرفَيِ الفتيلِ. وتقعُ النقطةُ الأخرى على جانبِ المقبسِ، وهي موصولةٌ بسلكٍ يتَّصلُ بالطرفِ الآخرِ للفتيلِ.

تُظهرُ هذه الوضعيَّةُ لنقطتَي التماسِّ داخلَ المقبسِ كيفَ يكملُ المصباحُ الدائرةَ. يظهرُ في الشكلِ (أ) أن هناك سلكًا يصلُ أحدُ طرفَي الفتيلِ بقاعدةِ المصباحِ. أما الطرفُ الآخرُ للفتيلِ، فإنه موصولٌ مباشرةً بالقاعدةِ المعدنيَّةِ (ج). تحولُ المادَّةُ العازلةُ بين جانبِ القاعدةِ ونقطةِ التماسِّ في الأسفلِ، دونَ اتِّصالِ الأسلاكِ بعضِها ببعضٍ، بوساطةِ مادَّةٍ موصِّلةٍ. بهذه الطريقةِ، يكونُ للشحناتِ مسارٌ واحدٌ فقط، تسلكُه عند مرورِها عبرَ المصباحِ والفتيلِ (ب).

عندَ دفعِ المصباحِ لولبيًّا، تلامسُ نقطةُ الاتِّصالِ على المقبسِ الخيوطَ على جانبِ قاعدةِ المصباحِ. أما نقطةُ الاتِّصالِ في قاعدةِ المقبسِ، فإنها تلامسُ نقطةَ الاتِّصالِ في قاعدةِ المصباحِ. تستطيعُ الشحناتُ الدخولَ عبرَ قاعدةِ المصباحِ، ثم الانتقالَ في المصباحِ إلى الفتيلِ، لتخرجَ من المصباحِ عبرَ الأسلاكِ. تشغِّ معظمُ أنواعِ المصابيحِ، دون اعتبارٍ لاتِّجاهِ سريانِ الشحناتِ. يمكنُ وصلُ القطبِ الموجبِ إذًا من البطَّاريَّةِ إمّا بقاعدةِ المصباحِ وإمّا بالخيوطِ الموجودةِ على المصباحِ مادامَ القطبُ السالبُ قد تمَّ وصلُه بالقاعدةِ بالتتابعِ. المهمُّ وجودُ مسارٍ موصِّلٍ كاملٍ يسمحُ للشحناتِ بالانتقالِ عبرَهُ في الدائرةِ.





تحتوي المصابيحُ على مسارٍ موصِّلٍ كاملٍ. عندَ دفعِ المصباحِ لولبيًّا داخلَ المقبسِ، تدخلُ الشحناتُ عبرَ القاعدةِ (أ)، وتنتقلُ في السلكِ إلى الفتيلِ (ب)، ثم تخرجُ من المصباحِ عبرَ الأسلاكِ (ج).

دوائرُ التماسِّ قد تكونُ خطرةً

من دون حِملٍ، كالمصباحِ أو أي مقاومٍ آخرَ، تحتوي الدائرةُ على مقاوَمةٍ ضعيفةٍ لحركةِ الشحناتِ. تُسمّى هذه الحالةِ *دائرةَ تماسٍّ*. حالةٌ كهذه تحدثُ مثلاً عندمَا يصلُ سلكٌ (ضعيفُ المقاومةِ) أحدَ قُطبَيِ البطّاريةِ بالقُطبِ الآخرِ. يحدثُ هذا عادةً عندمَا يتلامسُ سلكان غيرُ معزولَيْن وموصّلان بقطبَيْن كهربائيَّيْن مختلفَيْن.

عندَ حدوثِ تماسٍّ في توصيلاتِ دوائرِ المنزلِ، تنتجُ زيادةٌ مفاجئةٌ بالتيّارِ تؤدّي إلى وضعٍ غيرِ آمنٍ. ذلك أن معظمَ الأسلاكِ الحاملةِ للزيادةِ في التيّارِ تسخنُ أكثرَ مما ينبغي، فتنصهرُ المادَّةُ العازلةُ للسلكِ ما قد يسبِّبُ حريقًا.

القوّةُ المحرِّكةُ الكهربائيَّةُ (emf) مصدرٌ لفرقِ الجُهدِ والطاقةِ الكهربائيَّةِ

هل يضيءُ مصباحٌ في دائرةٍ إذا نزعْنا البطّاريَّةَ عن الدائرةِ؟ من دونِ فرقِ جُهدٍ لا سريانَ لشحنةٍ أو لتيّارٍ. فالبطّاريةُ إذًا عنصرٌ ضروريٌّ، لأنها مصدرٌ لفرقِ الجُهدِ والطاقةِ الكهربائيَّةِ في الدائرةِ. هذا يعني أن وصلَ المصباحِ بالبطّاريةِ يجعلُه يضيءُ.

إنَّ أيَّ جهازٍ يزيدُ من طاقةِ جُهدِ الشحناتِ المارَّةِ في الدائرةِ يُسمّى مصدرًا لقوّةٍ محرِّكةٍ كهربائيَّةٍ (emf). تعرَّفُ الـ emf بالطاقةِ في وحدةِ شحنةٍ يزوِّدُها مصدرُ تيّارٍ كهربائيٍّ وتُعطى الرمزَ (ε). فكِّرْ في مولِّدٍ، مثلِ مضخّةِ الشحناتِ التي تحفِّزُ الإلكتروناتِ على التحرُّكِ في اتِّجاهٍ معيَّنٍ. تُعدُّ البطّارياتُ والمولِّداتُ أمثلةً على مصادرِ emf.

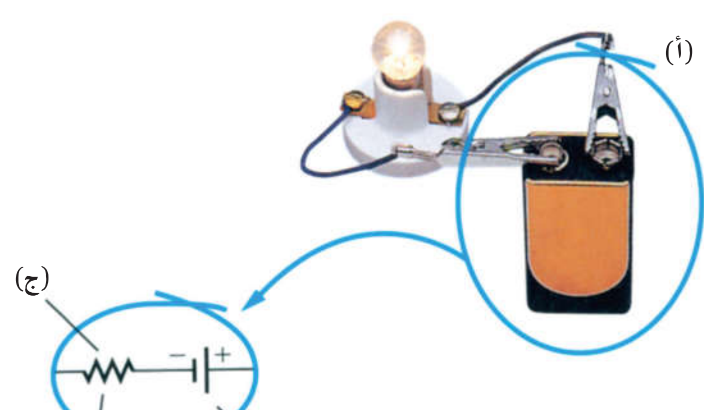
فرق الجُهدِ الخارجيِّ، في حالةِ التيّارِ الاصطلاحيِّ، أقلُّ من الـ emf

انظرْ إلى البطّاريَّةِ الموصولةِ بالمصباحِ في الدائرةِ الظاهرةِ في **الشكل 8-3**. البطّاريَّةُ الظاهرةُ هنا داخلَ الإطارِ، ليسَتْ فقط مصدرَ emf بل هي مصدرُ emf مع مقاومٍ.

المقاومُ الداخليُّ للتيّارِ ينشأُ عن تصادمِ الشحناتِ المتحرِّكةِ بالذرّاتِ داخلَ البطاريَّةِ، عِندَ انتقالِ الشحناتِ من قُطبٍ إلى آخرَ.

عندَ انتقالِ الشحناتِ داخلَ البطّاريَّةِ في الاتِّجاهِ الاصطلاحيِّ، يكونُ فرقُ الجُهدِ الناشئُ بينَ قُطبَي البطّاريَّةِ، والذي يُسمّى ڤولتيَّةَ القطبَيْن أقلَّ قليلاً من الـ emf.

إن فرقَ الجُهدِ عبرَ بطّاريَّةٍ، أينما يردُ في الكتابِ، يعني فرقَ الجُهدِ المقيسَ بين قطبَي البطّاريَّةِ، وليسَ القوَّةَ المحرِّكةَ الكهربائيَّةَ (emf) للبطّاريَّةِ، ما لم يُذكرْ غيرُ ذلك. يعني هذا إهمالَ المقاومةِ الداخليَّةِ للبطّاريَّةِ، في جميعِ الأمثلةِ والمسائلِ الواردةِ في الكتابِ.



الشكل 8-3
(أ) تسلكُ البطّاريَّةُ مع الدائرةِ وكأنَّها تحتوي على (ب) مصدرِ emf و(ج) مقاوَمةٍ داخليَّةٍ. للتبسيطِ في حل المسائلِ، نهملُ المقاوَمةَ الداخليَّةَ.

نشاط عملي سريع

الدائرةُ الكهربائيَّةُ البسيطةُ

المواد

- ✓ مصباحٌ كهربائيٌّ صغيرٌ
- ✓ بطّاريَّةٌ جافّةٌ
- ✓ أسلاك
- ✓ شريطٌ مطّاطيٌّ لاصقٌ

إرشاداتُ السلامة

احرصْ على استعمالِ الأدواتِ والأجهزةِ الكهربائيَّةِ الواردةِ في لائحةِ الموادِّ فقط.

لا تتعاملْ مع الكهرباءِ بالقربِ من الماءِ. تأكَّدْ من جفافِ الأرضِ والأسطحِ التي تعملُ عليها.

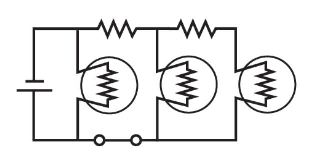
صل المصباحَ بالبطّاريَّةِ، مستعملاً سلكَيْن وشريطًا مطّاطيًّا أو لاصقًا، لتثبيتِ السلكِ بالبطّاريَّةِ. فورَ إضاءةِ المصباحِ، جرِّبْ مجموعاتٍ مختلفةً لتتبيَّنَ ما إذا كانَ هناك أكثرُ من طريقةٍ لإضاءةِ المصباحِ. هل يمكنُكَ ذلك باستعمالِ سلكٍ واحدٍ؟ ارسمْ مخطَّطًا لكلِّ مجموعةٍ جرَّبْتَها، وتحقَّقْ من الإضاءةِ. اشرحْ بدقةٍ أيٌّ من أجزاءِ المصباحِ والبطّاريَّةِ والسلكِ يجبُ وصلُها لجعلِ المصباحِ يضيءُ.

فرقُ الجُهدِ عبرَ الحملِ يساوي فرقَ الجُهدِ بينَ القطبَيْن

عندَما تنتقلُ الشحناتُ داخلَ البطّاريَّةِ من قُطبٍ إلى آخرَ، تتحوَّلُ الطاقةُ الكيميائيَّةُ إلى طاقةٍ كامنةٍ كهربائيَّةٍ للشحناتِ. لكن عندَما تتحرَّكُ الشحناتُ خلالَ الدائرةِ، فإن الطاقةَ الكامنةَ الكهربائيَّةَ تتحوَّلُ إلى أشكالٍ أخرى من الطاقةِ. مثلاً، عندَما يكونُ الحِملُ مقاوَمةً، تتحوَّلُ الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ للشحناتِ إلى طاقةٍ داخليَّةٍ في المقاومِ، وتُطلقُ كطاقةٍ حراريَّةً وضوئيَّةٍ.

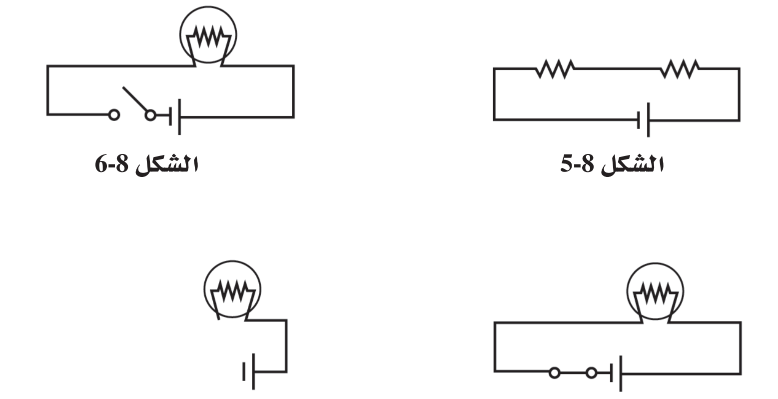
بما أن الطاقةَ محفوظةٌ لرحلةٍ كاملةٍ حولَ الدائرةِ (تبدأُ وتنتهي عندَ النقطةِ نفسِها)، فيجبُ أن تتساوى الطاقةُ المكتسبةُ مع الطاقةِ المفقودةِ. إذًا، يجبُ أن تتساوى الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المكتسبةُ في البطّاريَّةِ مع الطاقةِ المهدورةِ بوساطةِ الحملِ. بما أن فرقَ الجُهدِ هو مقياسٌ للطاقةِ الكامنةِ في كمّيَّةٍ من شحنةٍ، فيجبُ أن تكونَ الزيادةُ في الجُهدِ عبرَ البطّاريَّةِ مساويةً للانخفاضِ في الجُهدِ عبرَ الحملِ.

مراجعةُ القسم 1-8



الشكل 8-4

1. حدِّدْ أنواعَ العناصرِ الظاهرةِ في الرسمِ التخطيطيِّ، في **الشكلِ 8-4**، ورقِّمْ كلاًّ منها.
2. وظِّفِ الرموزَ في **الجدول 8-1**، وخطِّطْ رسمًا تخطيطيًّا لدائرةٍ تعملُ وتحتوي على مقاومَيْن ومصدرِ emf ومفتاحٍ مغلقٍ.
3. في أيٍّ من الدوائرِ أدناه لا يسري تيّارٌ كهربائيٌّ؟



الشكل 8-5 — الشكل 8-6 — الشكل 8-7 — الشكل 8-8

4. إذا كانَ فرقُ الجُهدِ عبرَ مصباحٍ كهربائيٍّ 3.0 V، فما فرقُ الجُهدِ عبرَ مجموعةٍ من البطّاريّاتِ المستعملةِ لتزويدِه بالقدرةِ؟
5. **تفكيرٌ ناقد** بأيِّ شكلٍ من أشكالِ الطاقةِ تُهدرُ الطاقةُ الكهربائيَّةُ المزوَّدةُ لشريطٍ من مصابيحِ الزينةِ؟

نافذةٌ على الموضوع

الترانزيسترُ والدائرةُ المتكاملةُ

تعلَّمتَ في فصلِ «الطاقةُ والتيّارُ الكهربائيُّ» عن نوعٍ من الموادِّ يُسمّى أشباهَ الموصِّلاتِ، وله صفاتٌ تقعُ بين العوازلِ والموصِّلاتِ. لأشباهِ الموصِّلاتِ أدوارٌ مهمَّةٌ في حياتِنا اليوميَّةِ، كما أنها تعدُّ جزءًا أساسيًّا داخلَ كلِّ جهازٍ إلكترونيٍّ تقريبًا.

في الأساسِ، تصنعُ معظمُ أشباهِ الموصِّلاتِ التجاريَّةِ من السيليكون أو الجرمانيوم. ويمكنُ تعزيزُ صفاتِ أشباهِ الموصِّلاتِ بعمليَّةٍ تضافُ فيها الشوائبُ إلى المادَّةِ الأساسيَّةِ، فتصبحُ المادَّةُ إما شبهَ موصِّلٍ سالبًا، وإما شبهَ موصِّلٍ موجبًا. تحملُ أشباهُ الموصِّلاتِ السالبةُ شحناتٍ سالبةً (بشكلِ إلكتروناتٍ)، وتحملُ أشباهُ الموصِّلاتِ الموجبةُ شحناتٍ موجبةً. الشحناتُ الموجبةُ في أشباهِ الموصِّلاتِ الموجبةِ ليسَت في الحقيقةِ جسيماتٍ موجبةَ الشحنةِ، بل هي «ثقوبٌ» أحدثَها غيابُ الإلكتروناتِ.

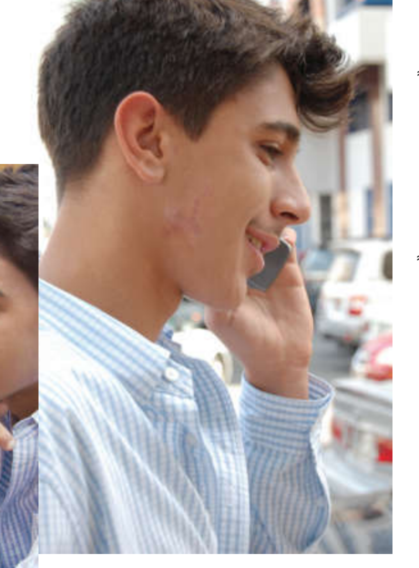
تبرزُ أكثرُ صفاتِ أشباهِ الموصِّلاتِ أهمّيَّةً، عندَما يستعملُ أكثرُ من نوعٍ واحدٍ منها في الجهازِ الإلكترونيِّ. يُعدُّ «الدايود» أو الصمّامُ الثنائيُّ أحدَ هذه الأجهزةِ، والتي تصنعُ بوضعِ شبهِ موصِّلٍ موجبٍ p بمحاذاةِ شبهِ موصِّلٍ سالبٍ n. يُسمّى التوصيلُ، حيثُ يلتقي نوعا شبهِ الموصِّلِ، وصلةَ p-n. ويسمّى الدايود متماسَّ القطبَيْنِ. للدايود مقاوَمةٌ لا متناهيةٌ تقريبًا في اتِّجاهٍ معيَّنٍ، ومقاوَمةٌ معدومةٌ، أي صفرٌ، في الاتِّجاهِ الآخرِ. من التطبيقاتِ المفيدةِ للدايود، تحويلُ التيّارِ المتناوبِ إلى تيّارٍ مستمرٍّ.

الترانزيستر جهازٌ يحتوي على ثلاثِ طبقاتٍ من أشباهِ الموصِّلاتِ. يمكنُ للترانزيستر أن يكونَ pnp أو npn، تبعًا لترتيبِ الطبقاتِ. يشبهُ الترانزيستر دايودَيْنِ متلاصقَيْنِ من الخلفِ. قد تعتقدُ أن ذلك يعني عدمَ وجودِ تيّارٍ في الترانزيستر بسببِ وجودِ مقاومةٍ لا متناهيةٍ على أحدِ توصيلاتِ p-n، أو الأخرى.

في الحقيقةِ، إذا طُبِّقَتْ فولتيَّةٌ صغيرةٌ على الطبقةِ الوسطى من الترانزيستر، تتغيَّرُ، نتيجةً لذلك، توصيلاتُ الـ p-n، بحيثُ تصبحُ كمّيَّةٌ كبيرةٌ من التيّارِ في الترانزيستر. لذلك تُستعملُ الترانزيستراتُ كمفاتيحَ دائرةٍ تسمحُ لتيّارٍ صغيرٍ بأن يحدثَ تيّارًا شدَّتُهُ أكبرُ، أو تيّارًا شدَّتُه صفرٌ. هذا النوعُ من الترانزيستراتِ يُشكِّلُ الجزءَ الأهمَّ في تصنيعِ الحاسوبِ.

الدائرةُ المتكاملةُ مجموعةٌ من الترانزيستراتِ والدايوداتِ والمكثِّفاتِ والمقاوماتِ المدموجةِ في قطعةٍ واحدةٍ من السيليكون تُسمّى *الشريحةَ*. ويعودُ الفضلُ في التطوُّرِ السريعِ الذي طرأ على صناعةِ الحاسوبِ والإلكترونيّاتِ في العقودِ القليلةِ الماضيةِ، إلى التعديلاتِ التي طرأتْ على تكنولوجيا أشباهِ الموصِّلاتِ التي أتاحَتْ تصنيعَ ترانزيستراتٍ أصغرَ حجمًا، وإضافةَ عناصرَ أخرى إلى الدائرةِ على الشريحةِ. فاللوحةُ الأمُّ الظاهرةُ للحاسوب والتي تحتوي على عدَّةِ دوائرَ متكاملةٍ، كلٌّ منها تحتوي على ملايينِ الترانزيستراتِ.

اللوحةُ الأمُّ في الحاسوبِ، هي مجموعةٌ من طبقاتٍ مضاعفةٍ من الدوائرِ المتكاملةِ، والتي تحتوي على ملايينِ الترانزيستراتِ وعناصرَ أخرى من الدائرةِ.



القسم 2-8

مقاوماتٌ على التوالي أو على التوازي
Resistors in Series or in Parallel

2-8 أهدافُ القسم

- يحسُبُ المقاوَمةَ المكافئةَ لدائرةِ مقاوماتٍ على التوالي، ويجدُ التيّارَ فيها، وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ في الدائرة.
- يحسُبُ المقاوَمةَ المكافئةَ لدائرةِ مقاوماتٍ على التوازي، ويجدُ التيّارَ فيها، وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ في الدائرة.

مقاوِماتٌ موصولةٌ على التوالي

في دائرةٍ تتألّفُ من مصباحٍ وبطّاريّةٍ يتساوى فيها فرقُ الجُهدِ عبرَ المصباحِ مع الفولتيّةِ القطبيّةِ، يُمكنُ حسابُ التيّارِ الكلّيِّ في الدائرةِ باستعمالِ المعادلةِ $\Delta V = IR$.

ماذا يحدثُ إذا أضفْنا مصباحًا ثانيًا إلى تلك الدائرةِ، كما يظهرُ في **الشكل 9-8** (أ) خلالَ انتقالِ الشحناتِ في الدائرةِ، تمرُّ بأحدِ المصباحَيْن، ولا بُدَّ أن تمرَّ أيضًا بالمصباحِ الآخرِ. بما أن جميعَ الشحناتِ في الدائرةِ تتّبعُ حتمًا المسارَ الموصِّلَ نفسَه، فإن المصباحَيْن يكونانِ موصلَيْنِ **على التوالي** series.

على التوالي

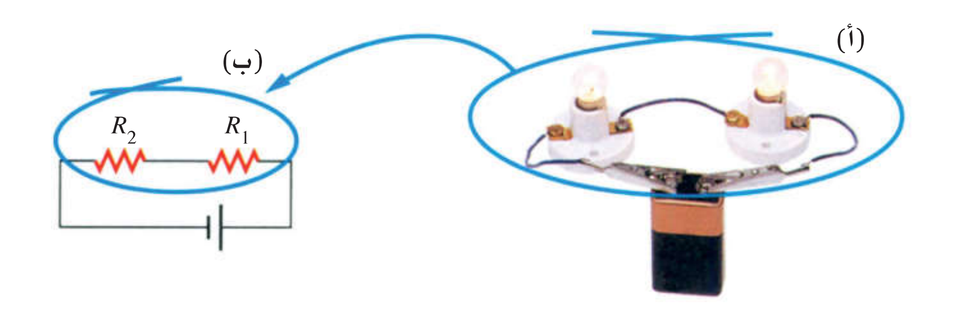
تصفُ مكوِّنَيْن أو أكثرَ من دائرةٍ توفِّرُ مسارًا واحدًا للتيّارِ.

مُقاوِماتٌ على التوالي تحملُ التيّارَ نفسَه

تُعدُّ فتائلُ المصابيحِ الكهربائيّةِ، في الحقيقةِ، مقاوِماتٍ. يمثِّلُ **الشكلُ 9-8** (ب) المصباحَيْن الظاهرَيْن في **الشكل 9-8** (أ) كمقاومَيْن. بما أن الشحنةَ محفوظةٌ، فلا يُمكنُ أن تُستحدثَ أو تنعدمَ. لذلك تكونُ كمّيّةُ الشحنةِ التي تدخلُ المصباحَ الأوّلَ خلالَ فترةٍ زمنيّةٍ معيّنةٍ، مساويةً لكمّيّةِ الشحنةِ التي تكونُ في المصباحِ الآخرِ خلالَ الفترةِ نفسِها. وبما أن هناكَ مسارًا واحدًا فقط تسلكُهُ الشحنةُ، فإن كمّيّةَ الشحنةِ التي تدخلُ المصباحَ الأوّلَ وتخرجُ منه تكونُ مساويةً لكمّيّةِ الشحنةِ التي تدخلُ المصباحَ الثانيَ وتخرجُ منه خلالَ الفترةِ الزمنيّةِ نفسِها.

ولمّا كانَتْ شدّةُ التيّارِ تُعرَّفُ بكمّيّةِ الشحنةِ المارّةِ في مقطعٍ في وحدةِ زمنٍ، فإن التيّارَ في المصباحِ الأوّلِ لا بُدَّ أن يتساوى مع التيّارِ في المصباحِ الثاني. ويصحُّ هذا في أيِّ عددٍ من المقاوِماتِ الموصولةِ على التوالي. *نستنتجُ عندَ وصلِ بضعةِ مقاوِماتٍ على التوالي أن التيّارَ في كلِّ مقاومٍ يكونُ هو نفسُه.*

يعتمدُ التيّارُ الكلّيُّ في دائرةِ توالٍ على عددِ المقاوِماتِ الموجودةِ، ومقدارِ مقاومةِ كلٍّ منها. فلحسابِ التيّارِ الكلّيِّ، استعملْ أوّلاً قيمَ المقاوَماتِ الفرديّةَ، لإيجادِ المقاومةِ الكلّيّةِ للدائرةِ، وتسمّى *المقاوَمةَ المكافئةَ*. استعملْ بعد ذلك المقاوَمةَ المكافئةَ لإيجادِ التيّارِ الكهربائيِّ.



الشكل 9-8

هذان المصباحان موصولان على التوالي. بما أن فتيلَي المصباحَيْن مقاومان، (أ) فإنَّ من الممكن تمثيلَ المصباحَيْن في دائرةِ التوالي هذه بمقاومَيْن (ب) في الرسمِ التمثيليِّ الظاهرِ إلى اليسارِ.

المقاوَمةُ المكافئةُ في دائرةِ التوالي تساوي مجموعَ مقاوَماتِ الدائرةِ الفرديَّةِ

إن فرقَ الجُهدِ عبرَ بطّاريَّةٍ، ΔV، يجبُ أن يساويَ مجموعَ فرقَيِ الجُهدِ بين طرفَيِ الحِمل، $\Delta V_1 + \Delta V_2$، حيث ΔV_1 فرقُ الجُهدِ لـ R_1، و ΔV_2 فرقُ الجُهدِ لـ R_2.

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

تبعًا للعلاقةِ $\Delta V = IR$، يكونُ فرقُ الجُهدِ لكلِّ مقاومٍ مساويًا للتيّارِ في المقاوِمِ مضروبًا في المقاومةِ.

$$\Delta V = I_1R_1 + I_2R_2$$

بما أن المقاوَماتِ موصولةٌ على التوالي، فإنَّ التيّارَ يكونُ نفسَه في كلٍّ منها. لذلك يحلُّ المتغيِّرُ I محلَّ I_1 و I_2.

$$\Delta V = I(R_1 + R_2)$$

أصبحَ الآن ممكنًا إيجادُ قيمةٍ للمقاوَمةِ المكافئةِ. افترضْ أن المقاوَمةَ المكافئةَ قد حلَّتْ محلَّ المقاوِمَيْنِ الأصليَّيْنِ، كما يظهرُ في **الشكل 8-10**. باستطاعتِكَ الآن التعاملَ مع الدائرةِ كما لو أنها تحتوي على مقاوِمٍ واحدٍ فقط، فتستعملُ $\Delta V = IR$ لربطِ فرقِ الجُهدِ الكلّيِّ والتيّارِ بالمقاوَمةِ المكافئةِ.

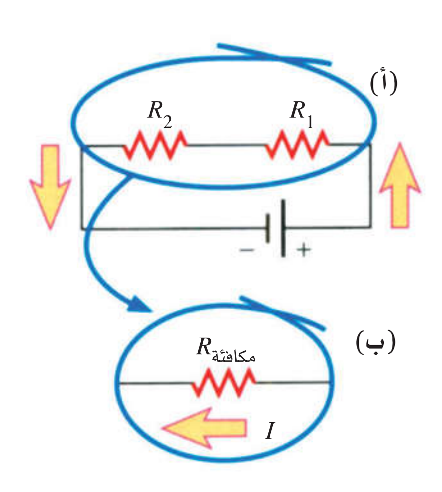
$$\Delta V = I(R_{\text{مكافئة}})$$

تُكتبُ، الآن، المعادلتانِ الأخيرتانِ لـ ΔV المتساويتان، وتقسمُ على التيّارِ:

$$\Delta V = I(R_{\text{مكافئة}}) = I(R_1 + R_2)$$

$$R_{\text{مكافئة}} = R_1 + R_2$$

نستنتجُ أن المقاوَمَةَ المكافئةَ لمجموعةِ مقاوَماتٍ على التوالي تساوي جمعَ المقاوَماتِ الفرديَّةِ. بشكلٍ عام، يمكنُ حسابُ المقاوَمةِ المكافئةِ لمقاوِمَيْنِ أو عدَّةِ مقاوِماتٍ موصولةٍ على التوالي، باستعمالِ المعادلةِ التاليةِ.



الشكل 8-10
للمقاومتَيْن في الدائرةِ الحقيقيَّةِ (أ) التأثيرُ نفسُه في التيّارِ كتأثير (ب) المقاوَمةِ المكافئةِ.

مقاوِماتٌ على التوالي

$$R_{\text{مكافئة}} = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$$

المقاوَمةُ المكافئةُ في دائرةِ التوالي تساوي مجموعَ مقاوَماتِها الفرديَّةِ

لاحظْ أن المقاوَمةَ المكافئةَ لمجموعةِ مقاوِماتٍ موصولةٍ على التوالي أكبرُ دائمًا من أيٍّ من المقاوَماتِ الفرديَّةِ.

لإيجادِ التيّارِ الكلّيِّ في دائرةِ التوالي، بسِّطِ الدائرةَ أوّلاً إلى مقاوَمةٍ مكافئةٍ واحدةٍ، مُستعملاً المعادلةَ أعلاه، ثم استعملْ $\Delta V = IR_{\text{المكافئة}}$ لحسابِ التيّارِ.

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}}$$

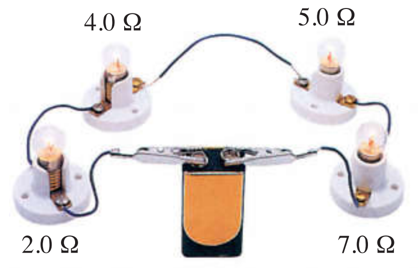
بما أن التيّارَ في كلِّ مصباحٍ يُساوي التيّارَ الكلّيَّ، فإنَّكَ تستطيعُ أيضًا استعمالَ $\Delta V = IR$ لحسابِ فرقِ الجُهدِ لكلِّ مقاومٍ.

$$\Delta V_1 = IR_1 \quad \text{و} \quad \Delta V_2 = IR_2$$

تلك الطريقةُ التي شُرحَتْ قبلَ قليلٍ يمكنُ استعمالُها لإيجادِ فرقِ الجُهدِ لمقاوِماتٍ موصولةٍ على التوالي، في دائرةٍ تحتوي على أيِّ عددٍ من المقاومات.

مثال 8 (أ)

مقاوِماتٌ على التوالي



المسألة

بطّاريَّةُ 9.0 V موصولةٌ بأربعةِ مصابيحَ، كما يظهرُ في الشكلِ. جدِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ والتيّارَ الذي يسري فيها.

الحلّ

1. أعرِّف

المعطى:

$\Delta V = 9.0\ \text{V}$ $R_1 = 2.0\ \Omega$

$R_2 = 4.0\ \Omega$ $R_3 = 5.0\ \Omega$

$R_4 = 7.0\ \Omega$

المجهول: $R_{\text{مكافئة}} = ?$ $I = ?$

المخطَّط:

4.0 Ω   5.0 Ω   7.0 Ω

2.0 Ω   9.0 V

2. أخطِّط

أختارُ معادلةً أو موقفًا: بما أن المقاوِماتِ موصولةٌ جنبًا إلى جنبٍ، فهي على التوالي. تُحسبُ المقاوَمةُ المكافئةُ، إذًا، بمعادلةِ المقاوِماتِ الموصولةِ على التوالي.

$$R_{\text{مكافئة}} = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$$

والمعادلةُ التاليةُ يمكنُ استعمالُها لحسابِ التيّارِ.

$$\Delta V = IR_{\text{مكافئة}}$$

أُعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهولِ:

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}}$$

3. أحسب

أُعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحلُّ:

$$R_{\text{مكافئة}} = 2.0\ \Omega + 4.0\ \Omega + 5.0\ \Omega + 7.0\ \Omega$$

$$\boxed{R_{\text{مكافئة}} = 18.0\ \Omega}$$

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{9.0\ V}{18.0\ \Omega} = 0.50\ A$$

4. أقيِّم لمقاوِماتٍ موصولةٍ على التوالي، تكونُ المقاوَمةُ المكافئةُ أكبرَ من أكبرِ مقاوَمةٍ في الدائرة:

$$18.0\ \Omega > 7.0\ \Omega$$

تطبيق 8 (أ)

مقاوِماتٌ على التوالي

1. بطّاريةٌ 12.0 V موصولةٌ على التوالي بثلاثةِ مقاوِمات 6.75 Ω و 15.3 Ω و 21.6 Ω بالتتابع.

أ. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ.

ب. ما شدَّةُ التيّارِ في الدائرةِ؟

2. ثلاثةُ مقاوِماتٍ 4.0 Ω و 8.0 Ω و 12.0 Ω موصولةٌ على التوالي ببطّاريَّةٍ 24.0 V.

أ. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ.

ب. احسبْ شدَّةَ التيّارِ في الدائرةِ.

ج. ما شدَّةُ التيّارِ في كلِّ مُقاومٍ؟

3. بما أن التيّارَ الذي يسري في المقاوَمةِ المكافئةِ في المثال (أ) هو 0.50 A، فلا بُدَّ أن يكونَ التيّارُ نفسُه في كلِّ مقاومٍ في الدائرةِ الأصليَّةِ. جدْ فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ.

4. مقاوِمان على التوالي 7.25 Ω و 4.03 Ω موصولان ببطّاريَّةٍ 9.00 V.

أ. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ وشدَّةَ التيّار.

ب. ما فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ؟

5. مقاومٌ 7.0 Ω موصولٌ على التوالي بمقاومٍ آخرَ وبطّاريَّةٍ 4.5 V. شدَّةُ التيّارِ في الدائرةِ 0.60 A. احسبْ قيمةَ المقاومِ المجهولِ.

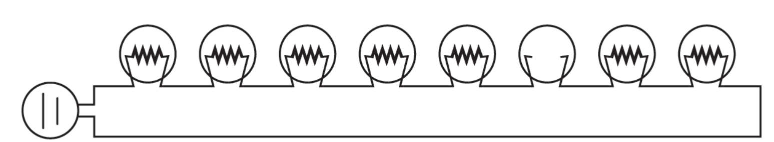
6. بضعةُ مصابيحَ كهربائيَّةٍ موصولةٍ على التوالي بمصدرٍ ذي ε = 115 V.

أ. ما المقاومةُ المكافئةُ، إذا كانَتْ شدَّةُ التيّارِ في الدائرةِ 1.70 A؟

ب. ما عددُ المصابيحِ في الدائرةِ، إذا كانَتْ مقاوَمةُ كلٍّ منها 1.50 Ω؟

دوائرُ التوالي وعناصرُها الموصّلةُ

ماذا يحدثُ لدائرةِ التوالي إذا احترقَ أحدُ المصابيحِ؟ يُظهرُ **الشكلُ 8-11** رسمًا تمثيليًّا لدائرة، فتيلُ أحدِ مصابيحِها الموصولةِ على التوالي مقطوعٌ. الفتيلُ المقطوعُ يعني وجودَ انقطاعٍ في المسارِ الموصِّلِ المستعملِ في صُنعِ الدائرةِ. بما أن الدائرةَ لم تعدْ مغلقةً، فالتيّارُ إذًا ليسَ ساريًا، ما يعني أن المصابيحَ كلَّها مطفأةٌ.



الشكل 8-11
الفتيلُ المقطوعُ في مصباحٍ محروقٍ يؤدّي إلى التأثيرِ نفسِه الذي يسبِّبُه فتحُ مفتاحِ الدائرةِ. بما أنَّ دائرةَ التوالي لم تعدْ مكتملةَ المسارِ، فالتيّارُ إذًا لا يسري فيها.

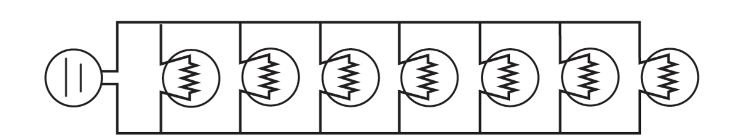
لماذا إذًا يرتّبُ أحدُهم المقاوماتِ على التوالي؟ توضعُ المقاوماتُ على التوالي مع جهازٍ لضبطِ شدَّةِ التيّارِ في ذاك الجهازِ. في حالةِ أضواءِ الزينةِ، تؤدّي إضافةُ مصباحٍ إلى الدائرةِ، إلى خفضِ شدَّةِ التيّارِ في كلِّ مصباحٍ. فذلكَ يخفِّفُ على الفتيلِ تحمُّلَ تيّارٍ عالٍ. ومن إيجابيّاتِ وضعِ المقاوماتِ على التوالي، استعمالُ مقاوماتٍ صغيرةٍ متعدِّدةٍ، يعادلُ مجموعُها مقاومةً أكبرَ قد لا تتوفَّرُ منفردةً. أخيرًا لا بُدَّ، في بعضِ الحالاتِ، أن يكونَ لدينا دائرةٌ يتوقَّفُ فيها التيّارُ، عندَما يتعطَّلُ أحدُ مكوِّناتِها. تستعملُ هذه التقنيَّةُ في مجالاتٍ عدَّةٍ، كأن تُستعملَ في أنظمةِ الإنذارِ ضدَّ السرقةِ.

مقاوِماتٌ موصولةٌ على التوازي

ماذا يحدثُ إذا توفَّرَتْ لحركةِ الشحنةِ ممرّاتٌ بديلةٌ من مسارٍ أساسٍ واحدٍ (كما في حالةِ التوالي)؟ يُظهرُ **الشكلُ 8-12** توزيعًا سلكيًّا يوفِّرُ مساراتٍ بديلةً لحركةِ الشحنةِ، يسمّى ترتيبًا على **التوازي** parallel. المصابيحُ الظاهرةُ في الرسمِ التمثيليِّ في **الشكل 8-12** لأضواءِ الزينةِ تمَّ ترتيبُها معًا على التوازي.

على التوازي

تصفُ مكوِّنَيْنِ أو أكثرَ من دائرةٍ تزوِّدُ بمساراتٍ موصِّلةٍ منفصلةٍ للتيّارِ، لأن المكوِّناتِ موصولةٌ عبرَ نقاطٍ أو توصيلاتٍ مشتركةٍ.

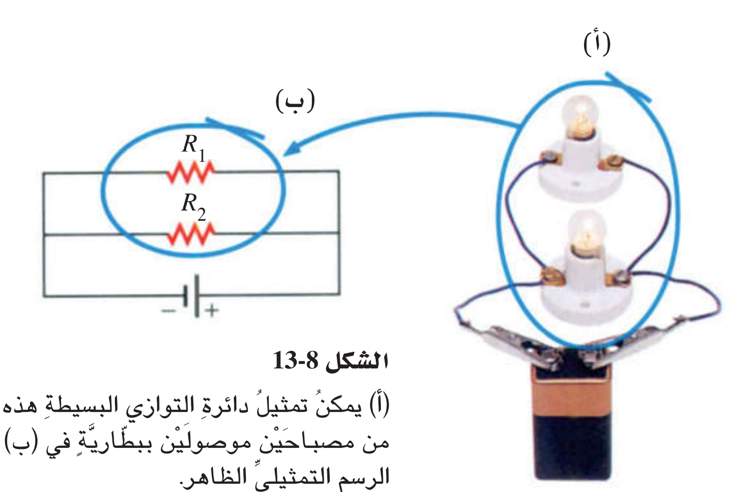


الشكل 8-12

أضواءُ الزينةِ هذه تمَّ وصلُها سلكيًّا على التوازي. لاحظْ، في حالةِ التوازي، أن هناك أكثرَ من ممرٍّ يسلكه التيّارُ.

فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ مقاوِماتٍ على التوازي

لاستكشافِ النتائجِ الناجمةِ عن ترتيبِ المقاوماتِ على التوازي، نأخذُ المصباحَيْنِ الموصولَيْن ببطّاريَّةٍ، كما في **الشكل 8-13** (أ). بهذا الترتيبِ يوصَّلُ الطرفُ الأيسرُ لكلِّ مصباحٍ بالقطبِ الموجبِ للبطّاريَّةِ، والطرفُ الأيمنُ بالقطبِ السالبِ. بما أن طرفَيْ كلِّ مصباحٍ موصولانِ بنقطتَيْنِ مشتركتَيْنِ، فإن فرقَ الجُهدِ يكونُ نفسَه للمصباحَيْنِ. وإذا كانَتِ النقطتان هما قطبا البطّاريَّةِ، كما يظهرُ في الشكلِ، يصبحُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ كلِّ مصباحٍ مساويًا لفرقِ الجُهدِ بين طرفَيِ البطّاريَّةِ، في حين أنَّ التيّارَ في كلِّ مصباحٍ ليسَ دائمًا نفسَه.



الشكل 8-13

(أ) يمكنُ تمثيلُ دائرةِ التوازي البسيطةِ هذه من مصباحَيْنِ موصولَيْنِ ببطّاريَّةٍ في (ب) الرسمِ التمثيليِّ الظاهرِ.

التيّارُ الكلّيُّ والتيّاراتُ الفرعيَّةُ في مقاوِماتٍ على التوازي

عندَما تغادرُ كمّيَّةُ شحنةٍ معيَّنةٍ القطبَ الموجبَ وتصلُ إلى الجانبِ الأيسرِ للدائرةِ الظاهرةِ في **الشكل 8-13**، تنتقلُ بعضُ الشحناتِ عبرَ المصباحِ الأعلى، وبعضُها عبرَ المصباحِ الأسفلِ. إذا كانَتْ مقاومةُ أحدِ المصباحَيْنِ أقلَّ، تكونُ كمّيَّةُ الشحناتِ المارَّةِ فيه أكثرَ، لأن إعاقتَه لسريانِ الشحناتِ أقلُّ.

بما أن الشحنةَ محفوظةٌ، فإن مجموعَ التيّاراتِ في المصابيحِ يكونُ مساويًا للتيّارِ I

المرسَل من البطّاريَّةِ. يصحُّ هذا في جميعِ المقاوِماتِ على التوازي.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \ldots$$

يمكنُ تبسيطُ دائرةِ التوازي في **الشكل 13-7** إلى مقاوِمةٍ مكافئةٍ، بطريقةٍ تشبهُ الطريقةَ التي اتُّبِعَتْ لدوائرِ التوالي. للقيامِ بذلك، اكتبْ أولاً العلاقةَ بين التيّاراتِ.

$$I = I_1 + I_2$$

ثمَّ عوِّضِ التيّارَ بدلالةِ ΔV و R تبعًا لـ $\Delta V = IR$.

$$\frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{\Delta V_1}{R_1} + \frac{\Delta V_2}{R_2}$$

بما أن فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مصباحٍ في ترتيبِ التوازي يساوي فرقَ الجُهدِ بين القطبَيْن $(\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2)$، فإنك تستطيعُ قسمةَ طرفَيِ المعادلةِ في ΔV لتحصُلَ على المعادلةِ التاليةِ:

$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

إن الاستمرارَ في عمليَّةِ التحليلِ لعدَّةِ مقاوِماتٍ مرتَّبةٍ على التوازي، يسمحُ لنا بصياغةِ المعادلةِ التاليةِ، لحسابِ المقاوِمةِ المكافئةِ.

مقاوِماتٌ على التوازي

$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$$

المقاوِمةُ المكافئةُ لمقاوِمات على التوازي يمكنُ حسابُها باستعمالِ مقلوبِ المقاوِمةِ

لاحظْ أن هذه المعادلةَ لا تعطي قيمةَ المقاوِمةِ المكافئةِ مباشرةً، بل ينبغي أن تقلبَ جوابَكَ لتحصُلَ عليها.

الفيزياءُ والحياةُ

1. **مصابيحُ السيّارةِ الأماميَّةُ** كيفَ تتأكَّدُ من أن مصابيحَ سيّارتِكَ قد رُتِّبَتْ على التوازي أم رُتِّبَتْ على التوالي؟ كيف يتغيَّرُ سطوعُ المصابيحِ إذا رُتِّبَتْ المصابيحُ على التوالي مع بطّاريَّةِ 12 V نفسِها، بدلاً من التوازي؟
2. **دوائرُ بسيطةٌ** خطِّطْ قدرَ الإمكانِ رسومًا تمثيليَّةً لدوائرَ تحتوي على ثلاثةِ مصابيحَ، متساويةِ المقاوِمةِ متَّصلةٍ على التوازي، مع بطّاريَّةٍ.

نشاط عملي سريع

دوائرُ التوالي والتوازي

المـوادّ

- ✓ ماصّاتٌ بلاستيكيَّةٌ عدد 4
- ✓ محراكٌ عدد 4
- ✓ شريطٌ لاصقٌ

اقطعْ ماصّاتِ الشربِ العاديَّةَ والمحراكاتِ الدقيقةَ إلى أطوالٍ متساويةٍ. وصِّلْ بينَها مستعملاً شريطًا لاصقًا، لتشكِّلَ مجموعاتٍ متواليةً من الأنابيبِ. شكِّلْ مجموعاتٍ متوازيةً بإلصاقِ الماصّاتِ والمحراكاتِ جنبًا إلى جنبٍ. جرِّبْ مجموعاتٍ متعدِّدةً من الماصّاتِ والمحراكاتِ. انفخْ في كلِّ مجموعةٍ من الأنابيبِ، واضعًا إصبعَكَ أمامَ الفتحةِ، أو الفتحاتِ، لكي تقارنَ انسيابَ الهواءِ (أو تيّارَ الهواءِ) الذي تشعرُ به من خلالِ كلِّ مجموعةٍ.

أنابيبُ على التوالي

أنابيبُ على التوازي

رتِّبِ المجموعاتِ تبعًا لشدَّةِ مقاومةِ نفخِ الهواءِ. صنِّفْها تبعًا لشدَّةِ تيّارِ الهواءِ في كلٍّ منها.

بما أن العلاقةَ عكسيَّةٌ، فلا بُدَّ أن تكونَ المقاوَمةُ المكافئةُ للمقاوِماتِ المرتَّبةِ على التوازي أصغرَ من أصغرِ مقاوَمةٍ في مجموعةِ المقاوِمات.

في **الجدولِ 8-2** أدناه ملخَّصٌ للاستنتاجاتِ حولَ دوائرِ التوالي ودوائرِ التوازي.

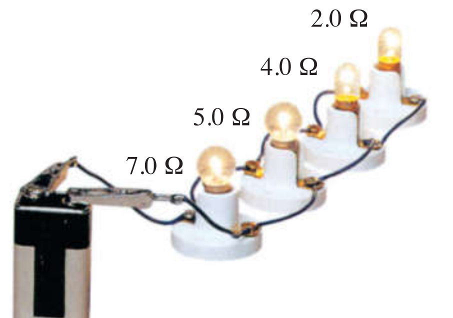
الجدول 8-2 مقاوِماتٌ على التوالي ومقاوِماتٌ على التوازي

	على التوالي	على التوازي
رسمٌ تمثيليٌّ		
التيّار	$I = I_1 = I_2 = I_3 \ldots$ نفسُها في كلِّ مقاومةٍ	$I = I_1 + I_2 + I_3 \ldots$ مجموعُ التيّاراتِ الفرعيَّة
فرقُ الجُهد	$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 + \Delta V_3 \ldots$ مجموعُ فروقِ الجُهد	$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = \Delta V_3 \ldots$ نفسُها لكلِّ مقاومةٍ
المقاومةُ المكافئةُ	$R_{\text{مكافئة}} = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$ مجموعُ المقاوماتِ الفرديَّة	$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$ مقلوبُ مجموعِ مقلوباتِ المقاوِمات

مثال 8 (ب)

مقاوِماتٌ على التوازي





المسألة

بطّاريَّةٌ 9.0 V موصولةٌ بأربعةِ مقاوِمات، كما يظهرُ في الشكل. جدِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ وشدَّةَ التيّارِ الكلّيِّ فيها.

الحــلّ

1. أعرِّف

المعطى: $\Delta V = 9.0\ \text{V}$ ، $R_1 = 2.0\ \Omega$ ، $R_2 = 4.0\ \Omega$ ، $R_3 = 5.0\ \Omega$ ، $R_4 = 7.0\ \Omega$

المجهول: $R_{\text{مكافئة}} = ?$ ، $I = ?$

المخطط: 2.0 Ω ، 4.0 Ω ، 5.0 Ω ، 7.0 Ω ، 9.0 V

2. أخطِّط

أختارُ معادلةً أو موقفًا: بما أن طرفَيْ كلِّ مقاوِمٍ موصولان بنقاطٍ مشتركةٍ، فإن المقاوِمات موصولةٌ على التوازي. لذلك تحسُبُ المقاوَمةُ المكافئةُ بمعادلةِ مُقاوِماتِ التوازي.

$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

تُستعملُ المعادلةُ التاليةُ لحسابِ التيّارِ الكلّي.

$$\Delta V = IR_{\text{مكافئة}}$$

أعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لعزلِ المجهولِ: لا حاجةَ لإعادةِ ترتيبِ المعادلةِ الخاصَّةِ بالمقاوَمات، أعيدُ إذًا ترتيبَ المعادلةِ الأخرى.

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}}$$

3. أحسب **أعوِّضُ القيمَ في المعادلةِ وأحسبُ:**

$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{2.0\ \Omega} + \frac{1}{4.0\ \Omega} + \frac{1}{5.0\ \Omega} + \frac{1}{7.0\ \Omega}$$

$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{0.50}{1\ \Omega} + \frac{0.25}{1\ \Omega} + \frac{0.20}{1\ \Omega} + \frac{0.14}{1\ \Omega} = \frac{1.09}{1\ \Omega}$$

$$R_{\text{مكافئة}} = \frac{1\ \Omega}{1.09}$$

$$\boxed{R_{\text{مكافئة}} \simeq 0.92\ \Omega}$$

أعوِّضُ قيمةَ المقاوَمةِ المكافئةِ في معادلةِ التيّار.

$$I = \frac{\Delta V_{\text{كليّة}}}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{9.0\ \text{V}}{0.92\ \Omega} = \boxed{9.8\ \text{A}}$$

4. أقيِّم لا بُدَّ أن تكونَ قيمةُ المقاوَمةِ المكافئةِ لمُقاوِماتٍ موصولةٍ على التوازي أصغرَ من أصغرِ مقاوَمةٍ.

$$0.92\ \Omega < 2.0\ \Omega$$

ملاحظة

تزوِّدُكَ معادلةُ مُقاوِماتِ التوازي بمقلوبِ قيمةِ المقاوَمةِ المكافئة. احرصْ على حسابِ مقلوبِ هذه القيمةِ في الخطوةِ الأخيرةِ لحسابِ المقاوَمةِ المكافئة.

جوابُ الآلةِ الحاسبة

جوابُ الآلةِ الحاسبةِ هو 9.814612868. لكن بما أن فرقَ الجُهدِ 9.0 V يتألَّفُ من رقمَيْن معنويَّيْن، يصبحُ الجوابُ 9.8 A.

تطبيق 8 (ب)

مقاوِماتٌ على التوازي

1. احسبْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مقاومٍ في دائرةِ المثالِ 8 (ب).
2. قُطِعَ سلكٌ إلى خمسةِ أجزاءٍ متساويةِ الطول، ثم وُصِّلَتْ على التوازي فكانت المقاوَمةُ المكافئةُ تساوي 2.00 Ω. كم كانَتْ مقاوَمةُ الطولِ الأصليِّ للسلكِ قبل تقطيعِه؟
3. المقاوِماتُ الثلاثةُ 4.0 Ω و 8.0 Ω و 12.0 Ω موصولةٌ على التوازي ببطّاريَّةِ 24.0 V.
   أ. ما المقاوَمةُ المكافئةُ للدائرةِ؟
   ب. ما شدَّةُ التيّارِ في كلِّ مقاومٍ؟
4. ثلاثةُ مقاوِماتٍ (6.00 Ω، 9.00 Ω، 18.0 Ω) تمَّ وصلُها على التوازي مع بطّاريَّةٍ ذاتِ قوَّةٍ محرِّكةٍ كهربائيَّةٍ، إذا كانَت شدَّةُ التيّارِ في المقاومِ (9.00 Ω) تساوي 4.00 A،
   أ. احسُبِ المقاومةَ المكافئةَ للدائرةِ.
   ب. احسُبْ فرقَ الجُهدِ بين قطبَيِ البطاريَّةِ.
   ج. احسُبْ شدَّةَ التيّارِ في المقاومَيْنِ الأوَّلِ والثالث.

دائرةُ التوازي والعناصرُ الموصّلةُ

ماذا يحدثُ عندَما يحترقُ مصباحٌ في خيطِ أضواءِ الزينةِ المرتَّبةِ على التوازي؟ لا يعودُ هناك من تيّارٍ في ذاك الفرعِ من الدائرةِ، لكنَّ كلَّ فرعٍ من الفروعِ المتوازيةِ يوفِّرُ مسارًا بديلاً للتيّارِ. يكون فرقُ الجُهدِ المتوفِّرُ في الفروعِ الأخرى متساويًا والتيّارُ الساري فيها متساويًا، وبالتالي تبقى المصابيحُ في هذه الفروعِ مضاءةً. فدوائرُ التوازي إذًا لا تحتاجُ أن تكونَ جميعُ عناصرِها موصِّلةً للكهرباءِ.

عندَ وصلِ المقاوِماتِ على التوازي مع مصدرٍ ذي قوّةٍ محرِّكةٍ كهربائيَّةٍ، يكونُ فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ مساويًا دائمًا لفرقِ الجُهدِ بين قطبَيِ المصدرِ. بما أن دوائرَ المنزلِ الكهربائيَّةَ جميعُها على التوازي، فإنَّ مصنِّعي الأجهزةِ الكهربائيَّةِ يستطيعون معايرةَ تصاميمِهم لتعملَ جميعُها على فرقِ الجُهدِ نفسِه. نتيجةً لذلك، يجري اختيارُ المقاوِمِ الذي يمرِّرُ تيّارًا ليسَ قويًّا جدًّا ولا ضعيفًا جدًّا، قياسًا على ما يتحمَّلُهُ سلكُ الدائرةِ الداخليُّ أو مكوّناتٌ أخرى لجهازٍ في الدائرةِ.

بالإضافةِ إلى ذلك، تكونُ المقاوَمةُ المكافئةُ لعدَّةِ مقاوماتٍ أقلَّ قيمةً من أيٍّ من المقاوماتِ الفرديَّةِ. ما يمكِّنُ من استعمالِ مقاوَمةٍ مكافئةٍ منخفضةٍ لمجموعةٍ من مقاوماتٍ عاليةٍ.

هل تعلم؟

بما أن فرقَ الجُهدِ الذي يزوِّدُه مقبسُ الجدارِ في أمريكا الشماليَّةِ يختلفُ عن المتوفرِ في بقيةِ القارّات، فإن الأجهزةَ الكهربائيَّةَ المصنَّعةَ في أمريكا الشماليةِ لا تلائمُ القارّاتِ الأخرى.

مراجعةُ القسم 2-8

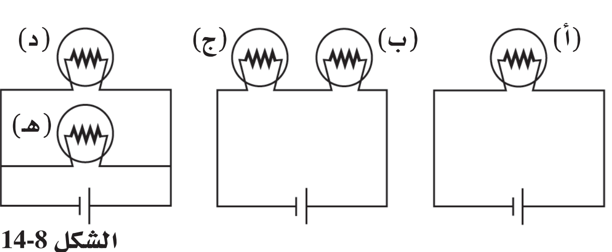
1. مقاوِمان موصولان على التوالي. المقاوِمان أنفسُهما موصولان على التوازي في دائرةٍ أخرى. في أيٍّ من الدائرتَيْن تكونُ المقاوَمةُ المكافئةُ أكبرَ؟

2. المقاوِماتُ 5 Ω و 10 Ω و 15 Ω موصولةٌ على التوالي.
أ. في أيٍّ منها يسري التيّارُ الأعلى؟
ب. بينَ طرفَيْ أيٍّ منها يكونُ فرقُ الجُهدِ الأكبر؟

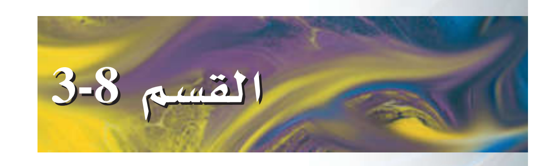
3. المقاوِمات 5 Ω و 10 Ω و 15 Ω موصولةٌ على التوازي.
أ. في أيٍّ منها يسري التيّارُ الأعلى؟
ب. بينَ طرفَيْ أيٍّ منها يكونُ فرقُ الجُهدِ الأكبر؟

4. جدْ شدَّةَ التيّارِ وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلٍّ من المقاوِماتِ في الدوائرِ التاليةِ:
أ. مقاوِمان 2.0 Ω و 4.0 Ω موصولانِ على التوالي مع مصدرٍ 12 V.
ب. مقاوِمان 2.0 Ω و 4.0 Ω موصولانِ على التوازي مع مصدرٍ 12 V.

5. **تفسيرُ الرسومِ التمثيليَّةِ** لا يعتمدُ سطوعُ المصباحِ على مقاومتِه وفرقِ الجُهدِ بين طرفَيْه فحسْب. فمصباحٌ بفرقِ جُهدٍ أكبرَ يطلقُ قدرةً أكبرَ، ويكونُ أكثرَ إنارةً. المصابيحُ الخمسةُ الظاهرةُ في **الشكل 14-8** متشابهةٌ، وكذلك البطّاريّاتُ الثلاث. رتِّبِ المصابيحَ من الأكثرِ إنارةً إلى الأقلِّ إنارةً، واذكُرْ منها المصابيحَ المتساويةَ في الإنارةِ. علِّلْ إجابتَك. (أهمِلْ مقاوَمةَ الأسلاكِ.)



الشكل 14-8



مجموعاتٌ مركَّبةٌ من المقاومات
Complex Resistor Combinations

8-3 أهدافُ القسم

- يحسبُ المقاوَمةَ المكافئةَ لدائرةٍ مركَّبةٍ تتضمَّنُ أقسامًا على التوالي وعلى التوازي.
- يحسبُ شدَّةَ التيّارِ وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ عناصرَ فرديَّةٍ في الدائرةِ المركَّبةِ.

مقاوِماتٌ موصولةٌ على التوازي وعلى التوالي

دوائرُ التوالي ودوائرُ التوازي منفصلةٌ بعضُها عن بعضٍ عادةً. مُعظمُ الدوائرِ اليومَ تتضمَّنُ كلا النوعَيْنِ من وصلٍ توالٍ ووصلٍ توازٍ للاستفادةِ من إيجابيّاتِ كلٍّ منهما.

المثالُ الشائعُ لدائرةٍ معقَّدةٍ، يتجسَّدُ في التوصيلاتِ السلكيَّةِ النموذجيَّةِ في المنزلِ، حيثُ يتمُّ وصلُ منصهرٍ أو قاطعِ دائرةٍ على التوالي، مع عدَّةِ مقابسِ تغذيةٍ موصولةٍ على التوازي. يظهرُ في **الشكل 8-15** مثالٌ لدائرةٍ نموذجيَّةٍ في المنزلِ.

نتيجةً لوصلِ مقابسِ التغذيةِ على التوازي، تعملُ جميعُ الأجهزةِ بشكلٍ مستقلٍّ. وعندَ إطفاءِ أحدِها، تبقى الأجهزةُ الأخرى تعملُ بشكلٍ طبيعيٍّ. إن وصلَ منافذِ التغذيةِ الكهربائيَّةِ على التوازي يضمنُ أن يكونَ فرقُ الجُهدِ نفسَه بينَ طرفَيْ أيٍّ من الأجهزةِ. بهذه الطريقةِ يستطيعُ صانعو الأجهزةِ إنتاجَ أجهزةٍ تعملُ جميعُها على فرقِ جُهدٍ معياريٍّ واحدٍ.

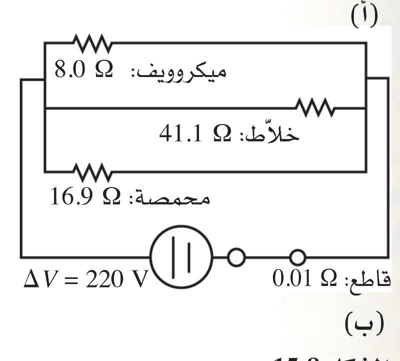
لتفادي تيّارٍ متزايدٍ، يجبُ وضعُ منصهرٍ أو مفتاحِ دائرةٍ على التوالي، مع جميعِ مقابسِ التغذيةِ. يعملُ المنصهرُ أو المفتاحُ على فتحِ الدائرةِ، عندَما يصبحُ التيّارُ عاليًا جدًّا. فالمنصهرُ شريطٌ معدنيٌّ صغيرٌ ينصهرُ إذا جاوزَتْ شدَّةُ التيّارِ قيمةً معيَّنةً. بعدَ انصهارِ الشريطِ، يجبُ استبدالُه. غيرَ أن مفتاحَ الدائرةِ جهازٌ أكثرُ حداثةً من المنصهرِ، لأنه يطلقُ مفتاحًا كهربائيًّا عندَما تصلُ شدَّةُ التيّارِ قيمةً معيَّنةً. يجبُ عندَها إعادةُ المفتاحِ إلى وضعِه الأساسيِّ وليسَ استبدالَه، بعدَ إزالةِ الحِمْلِ الزائدِ عن الدائرةِ. ولا بُدَّ من وصلِ المنصهرِ ومفتاحِ الدائرةِ، كلَيْهما، على التوالي، مع حملِ الدائرةِ، لتجنُّبِ وصولِ تيّارٍ متزايدٍ إلى أيٍّ من أجهزةِ الدائرةِ. فإذا استُعملَتْ جميعُ الأجهزةِ الظاهرةِ في **الشكل 8-15** دفعةً واحدةً، يزدادُ، في الحقيقةِ، حملُ الدائرةِ. فيفصلُ عندَها مفتاحُ الدائرةِ التيّارَ الكهربائيَّ.

يتمُّ اختيارُ المنصَهراتِ وقواطعِ الدوائرِ بعنايةٍ، لتفيَ بمُتطلَّباتِ الدائرةِ. إذا كانَ لابدَّ للدائرةِ من تحمُّلِ تيّارٍ تصلُ شدَّتُهُ إلى 30 A، يجبُ استعمالُ منصهرٍ أو مفتاحِ دائرةٍ مناسبٍ. بما أن المنصهرَ أو مفتاحَ الدائرةِ يوضعان على التوالي، مع بقيةِ الدائرةِ، يكونُ التيّارُ في المنصَهرِ أو مفتاحِ الدائرةِ مساويًا للتيّارِ الكلّيِّ في الدائرةِ. لإيجادِ هذا التيّارِ يتوجَّبُ تحديدُ المقاوَمةِ المكافئةِ.

عندَ تحديدِ المقاوَمةِ المكافئةِ لدائرةٍ مركَّبةٍ، ينبغي تبسيطُ الدائرةِ إلى مجموعاتٍ من مقاوِماتِ التوالي ومقاوِماتِ التوازي، ثم إيجادُ المقاوَمةِ المكافئةِ لكلِّ مجموعةٍ على حدةٍ، مُستعملاً قوانينَ حساباتِ المقاوَمةِ المكافئةِ، على التوالي وعلى التوازي.



(أ)



(ب)

الشكل 8-15

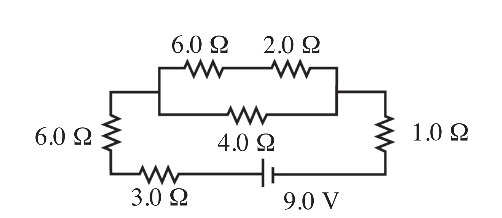
(أ) عندَ وصلِ جميعِ هذه الأجهزةِ بمقبسِ دائرةِ المنزلِ، (ب) تكونُ النتيجةُ مجموعةً من مقاوِماتِ التوازي موصولةً على التوالي مع قاطعِ الدائرةِ.

مثال 8 (ج)

المقاوَمةُ المكافئةُ

المسألة

احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ المركَّبةِ أدناه.



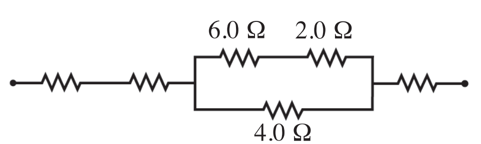
الطريقةُ المنطقيّةُ

الطريقةُ الفُضلى هي أن تُجزَّأ الدائرةُ إلى مجموعاتٍ من مُقاوِماتٍ على التوالي وعلى التوازي. بهذه الطريقةِ يمكنُ اتِّباعُ الطرائقِ المستعملةِ في المثالَيْن (أ) و (ب) لحسابِ المقاوَمةِ المكافئةِ لكلِّ مجموعةٍ.

الحـلّ

.1 **أعيدُ رسمَ الدائرةِ كمجموعةٍ من المقاوِماتِ على طولِ جانبٍ واحدٍ من الدائرةِ.**

بما أن مُنحنياتِ السلكِ لا تؤثِّرُ في الدائرةِ، فلا حاجةَ لتمثيلِها في المخطَّطِ. أعيدُ رسمَ الدائرةِ من دونِ الزوايا وأحافظُ على الترتيبِ نفسِه لعناصرِ الدائرةِ، كما يظهرُ في الشكلِ إلى اليسارِ.





تجاهلْ، حاليًّا، مصدرَ القوّةِ المحرِّكةِ الكهربائيّةِ، واعملْ فقطْ مع المقاوِمات.

.2 **أحدِّدُ مكوِّناتِ التوالي وأحسبُ مقاوَمتها المكافئةَ.**

المقاوِماتُ في المجموعتَيْن (أ) و(ب) موصولةٌ على التوالي.

للمجموعةِ (أ): $R_{\text{مكافئة}} = 3.0\ \Omega + 6.0\ \Omega = 9.0\ \Omega$

للمجموعةِ (ب): $R_{\text{مكافئة}} = 6.0\ \Omega + 2.0\ \Omega = 8.0\ \Omega$

.3 **أحدِّدُ مكوِّناتِ التوازي وأحسبُ مقاوَمتها المكافئةَ.**

المقاوِماتُ في المجموعةِ (ج) موصولةٌ على التوازي.

للمجموعةِ (ج):

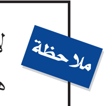
$$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{8.0\ \Omega} + \frac{1}{4.0\ \Omega} = \frac{0.12}{1\ \Omega} + \frac{0.25}{1\ \Omega} = \frac{0.37}{1\ \Omega}$$

$$R_{\text{مكافئة}} = 2.7\ \Omega$$

.4 **أعيدُ الخطوتَيْن 2 و 3 إلى أن ينخفضَ عددُ المُقاوِماتِ إلى مقاوِمةٍ مكافئةٍ مفردةٍ.**

المقاوِماتُ الباقيةُ في المجموعةِ (د) موصولةٌ على التوالي.

للمجموعةِ (د): $R_{\text{مكافئة}} = 9.0\ \Omega + 2.7\ \Omega + 1.0\ \Omega = \boxed{12.7\ \Omega}$



لا يهمُّ الترتيبُ الذي تتمُّ فيه عمليّاتُ تبسيطِ الدائرةِ، مادامَ التيّارُ هو نفسُه، وفرقُ الجُهدِ بينَ طرفَي الحملِ لم يتغيَّرْ.

تطبيق 8 (ج)

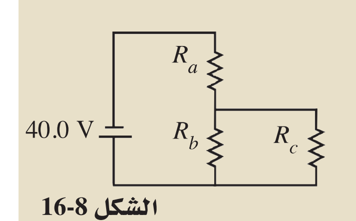
المقاوَمةُ المكافئةُ

1. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ الظاهرةِ في **الشكل 16-8**، تبعًا لمجموعاتِ القيَمِ التاليةِ.

أ. $R_a = 25.0\ \Omega$ $R_b = 3.0\ \Omega$ $R_c = 40.0\ \Omega$

ب. $R_a = 12.0\ \Omega$ $R_b = 35.0\ \Omega$ $R_c = 25.0\ \Omega$

ج. $R_a = 15.0\ \Omega$ $R_b = 28.0\ \Omega$ $R_c = 12.0\ \Omega$



الشكل 16-8

2. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ الظاهرةِ في **الشكل 17-8** تبعًا لمجموعاتِ القيمِ التاليةِ:

أ. $R_a = 25.0\ \Omega$ $R_b = 3.0\ \Omega$ $R_c = 40.0\ \Omega$
$R_d = 15.0\ \Omega$ $R_e = 18.0\ \Omega$

ب. $R_a = 12.0\ \Omega$ $R_b = 35.0\ \Omega$ $R_c = 25.0\ \Omega$
$R_d = 50.0\ \Omega$ $R_e = 45.0\ \Omega$

الشكل 17-8

إيجادُ التيّارِ وفرقِ الجُهدِ عبرَ جُزءٍ من الدائرةِ

الآنَ وبعدَ أن تمَّ تحديدُ المقاوَمةِ المكافئةِ لدائرةٍ مركَّبةٍ، نستطيعُ العملَ بشكلٍ معكوسٍ في محاولةٍ لإيجادِ التيّارِ وفرقِ الجُهدِ، عبرَ أيِّ مقاومٍ في الدائرةِ. لنأخذْ، مثلاً، جهازًا كهربائيًّا في المنزلِ. عوِّضْ فرقَ الجُهدِ والمقاوَمةَ المكافئةَ في المعادلةِ $\Delta V = IR$، لإيجادِ التيّارِ الكلّيِّ في الدائرةِ. بما أن المنصهرَ، أو مفتاحَ الدائرةِ، موصولٌ على التوالي مع حملِ الدائرةِ، يكونُ التيّارُ بالتالي مساويًا للتيّارِ الكلّيِّ. فورَ تحديدِ التيّارِ الكلّيِّ، يمكنُ استعمالُ $\Delta V = IR$ مرّةً أخرى، لإيجادِ فرقِ الجُهدِ بينَ طرفَيِ المنصهرِ أو مفتاحِ الدائرةِ.

ليسَ هناكَ معادلةٌ واحدةٌ، لإيجادِ التيّارِ وفرقِ الجُهدِ، بينَ طرفَيْ مُقاومٍ مدموجٍ داخلَ دائرةٍ مركَّبةٍ. بدلاً من ذلك، يجبُ تطبيقُ المعادلةِ $\Delta V = IR$، والقواعدِ الملخَّصةِ في **الجدولِ 3-8**، على أجزاءٍ صغيرةٍ من الدائرةِ، إلى أن نتوصَّلَ إلى القيمِ المتوخّاةِ.

الجدول 3-8 مقاوماتٌ على التوالي وعلى التوازي

	على التوالي	على التوازي
التيّار	هو نفسُهُ التيّارُ الكلّيُّ	اجمعْ لتجدَ التيّارَ الكلّيَّ
فرقُ الجُهدِ	اجمعْ لتجدَ الفرقَ الكلّيَّ	هو نفسُهُ فرقُ الجُهدِ الكلّيِّ

مثال 8 (د)

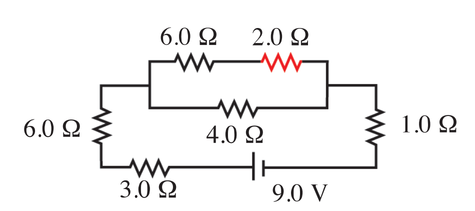
شدَّةُ التيّارِ في مقاومٍ وفرقُ الجُهدِ بين طرفَيْه

المسألة

حدّدْ شدَّةَ التيَار في المقاومِ $2.0\ \Omega$ الظاهرِ في الشكلِ أدناه، وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْه.

الطريقةُ المنطقيَّةُ

أحدّدُ أولاً التيّارَ الكلّيَّ للدائرةِ بعدَ خفضِ عددِ المقاوماتِ إلى مقاومةٍ مكافئةٍ واحدةٍ. ثمَّ أعيدُ بناءَ الدائرةِ خطوةً خطوةً، بحسابِ التيّارِ وفرقِ الجُهدِ للمقاومةِ المكافئةِ لكلِّ مجموعةٍ، إلى أن يتحدَّدَ التيّارُ وفرقُ الجُهدِ بينَ طرفَي المقاومِ $2.0\ \Omega$.



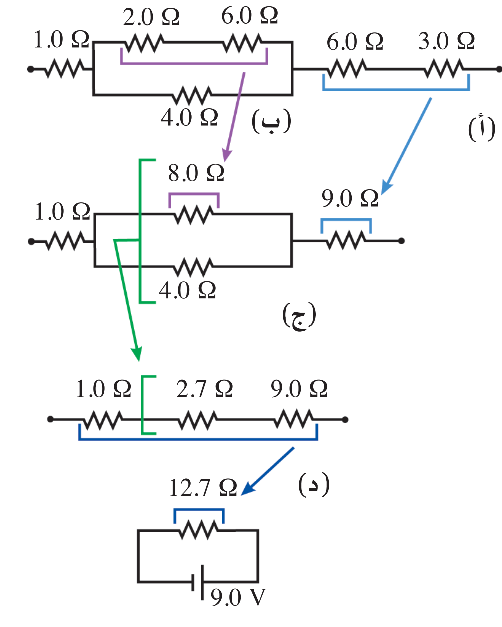
الحـلّ

1. **أحدّدُ المقاومةَ المكافئةَ للدائرةِ.**
المقاوَمةُ المكافئةُ للدائرةِ تساوي $12.7\ \Omega$. وقد تحدَّدَتْ هذه القيمةُ في المثالِ (ج).

2. **أحسبُ التيّارَ الكلّيَّ في الدائرةِ.**
أعوّضُ فرقَ الجُهدِ والمقاومةَ المكافئةَ في $\Delta V = IR$
وأعيدُ ترتيبَ المعادلةِ لإيجادِ التيّارِ المرسَلِ من البطّاريَّةِ.

$$I = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{9.0\ \text{V}}{12.7\ \ \Omega} = 0.71\ \text{A}$$

3. **أعوّضُ فرقَ الجُهدِ بدءًا من المقاوِمةِ المكافئةِ المحسوبةِ في الخطوةِ 1 وانتهاءً بالمقاومِ $2.0\ \Omega$.**
أراجعُ المسارَ المحدَّدَ لإيجادِ المقاوَمةِ المكافئةِ في الشكلِ إلى اليسارِ، وأعملُ بشكلٍ معكوسٍ عبرَ هذا المسارِ.
المقاوَمةُ المكافئةُ لكاملِ الدائرةِ هي نفسُها المقاومةُ المكافئةُ للمجموعةِ (د). المقاوَمةُ المركزيَّةُ في المجموعةِ (د) تكونُ بدورِها المقاوَمةَ المكافئةَ للمجموعةِ (ج).
المقاوَمةُ في قمَّةِ المجموعةِ (ج) هي المقاومةُ المكافئةُ للمجموعةِ (ب)، والمقاومُ إلى اليسارِ في المجموعةِ (ب) هو المقاومُ $2.0\ \Omega$.



ملاحظة

ليسَ من الضروريِّ حلُّ $R_{\text{مكافئة}}$ أوّلاً، ثم العملُ بشكلٍ معكوسٍ لإيجادِ التيّارِ، أو فرقِ الجُهدِ عبرَ مقاومٍ معيَّنٍ، كما هو الحلُّ في هذا المثالِ، بل إنَّ اتّباعَ هذه الخطواتِ يبقي العمليّاتِ الرياضيَّةَ أسهلَ عندَ كلِّ خُطوةٍ.

أتَّبعُ المسارَ المحدَّدَ في الخطوةِ 3، وأحسبُ شدَّةَ التيّارِ وفرقَ الجُهدِ عبرَ كلِّ مقاومةٍ مكافئةٍ. أعيدُ هذه العمليَّةَ حتى أحصُلَ على النتائجِ المطلوبةِ.

أ. أعيدُ التجميعَ ثمَّ أقيِّمُ وأحسبُ.

أستبدلُ المجموعةَ (د) بالمقاومةِ المكافئةِ للدائرةِ . مقاوِماتُ المجموعةِ (د) موصولةٌ على التوالي، لذلك يكونُ التيّارُ في كلِّ مقاومٍ هو نفسُهُ التيّارُ في المقاومةِ المكافئةِ، والذي يساوي 0.71 A. أما فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيِ المقاومِ Ω 2.7 في المجموعةِ (د)، فيمكنُ حسابُهُ باستعمالِ $\Delta V = IR$.

المعطى: $I = 0.71\ \text{A}$ $\quad R = 2.7\ \Omega$

المجهول: $\Delta V = ?$

الحل: $\Delta V = IR = (0.71\ \text{A})(2.7\ \Omega) = 1.9\ \text{V}$

ب. أعيدُ التجميعَ ثمَّ أقيِّمُ وأحسبُ.

أستبدلُ المجموعةَ (ج) بالمقاومِ المركزيِّ. مُقاوِماتُ المجموعةِ (ج) موصولةٌ على التوازي. لذلك يكونُ فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مقاومٍ هو نفسُهُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَيِ المقاومةِ المُكافئةِ Ω 2.7 ويساوي 1.9 V.
يمكنُ حسابُ التيّارِ في المقاومِ Ω 8.0 في المجموعةِ (ج) باستعمالِ $\Delta V = IR$.

المعطى: $\Delta V = 1.9\ \text{V}$ $\quad R = 8.0\ \Omega$

المجهول: $I = ?$

الحل: $I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{1.9\ \text{V}}{8.0\ \Omega} = 0.24\ \text{A}$

ج. أعيدُ التجميعَ ثمَّ أقيِّمُ وأحسبُ.

أستبدلُ المجموعةَ (ب) بالمقاومِ Ω 8.0 . مُقاوِماتُ المجموعةِ (ب) موصولةٌ على التوالي. لذلك يكونُ التيّارُ في كلِّ مقاومٍ هو نفسُهُ التيّارُ في المقاومةِ المكافئةِ Ω 8.0، ويساوي 0.24 A. يمكنُ حسابُ فرقِ الجُهدِ بين طرفَيِ المُقاومِ Ω 2.0، باستعمالِ $\Delta V = IR$.

المعطى: $I = 0.24\ \text{A}$ $\quad R = 2.0\ \Omega$

المجهول: $\Delta V = ?$

الحل: $\Delta V = IR = (0.24\ \text{A})(2.0\ \Omega) = \boxed{0.48\ \text{V}}$

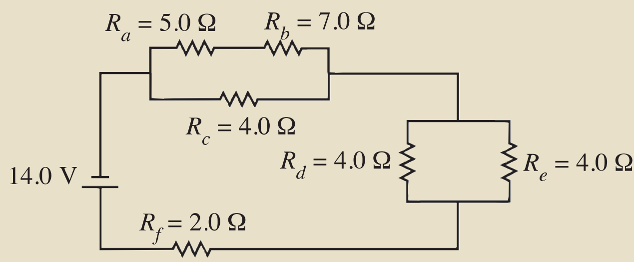
ملاحظة

باستطاعتِكَ التحقُّقَ من كلِّ خطوةٍ في المسائلِ بأسلوبٍ يشبهُ خُطواتِ المثالِ (د)، باستعمالِ $\Delta V = IR$ لكلِّ مقاومٍ في مجموعةٍ. باستطاعتِكَ أيضًا التحقُّقَ من حاصلِ جمعِ ΔV لدوائرِ التوالي وحاصلِ جمعِ I لدوائرِ التوازي.

تطبيق 8 (د)

شدَّةُ التيّارِ في مقاومٍ وفرقُ الجُهدِ بينَ طرفَيْه

احسبْ شدَّةَ التيّارِ وفرقَ الجُهدِ بين طرفَيْ كلٍّ من المقاوِماتِ الظاهرةِ في الرسمِ التمثيليِّ في **الشكلِ 8-18**.



الشكل 8-18

نافذةٌ على الموضوع

أضواءُ الزينةِ والمصابيحِ

لا تبقى المجموعاتُ الضوئيَّةُ المرتَّبةُ على التوالي مضاءةً عندَ احتراقِ أحدِ مصابيحِها. في حين أن توصيلَها على التوازي يحلُّ المشكلةَ. لكن يجبُ عندَها أن يكونَ كلُّ مصباحٍ قادرًا على تحمُّلِ 220 V. لتفادي تداعياتِ أيٍّ من نوعَيِ التوصيلِ هذَيْن، أصبحَتْ تصاميمُ الإضاءةِ الحديثةِ تحتوي، فعليًّا، على مجموعتَيْن أو ثلاثِ مجموعاتٍ موصولةٍ معًا على التوازي، بينما تكونُ مصابيحُ كلِّ مجموعةٍ موصولةً معًا على التوالي.

عندَ إزالةِ أحدِ المصابيحِ من المجموعةِ الحديثةِ، ينطفئُ نصفُ مصابيحِ المجموعةِ أو ثلثُها لأنها موصولةٌ على التوالي. عندَما يحترقُ أحدُ المصابيحِ، كيف تبقى باقي المصابيحِ مضاءةً؟

لأضواءِ الزينةِ الحديثةِ حلقةٌ صغيرةٌ من سلكٍ معزولٍ، تسمّى *توصيلةَ تخطٍّ*، تحيطُ بالسلكَيْنِ الموصولَيْنِ بالفتيلِ، كما يظهرُ في الشكلِ.

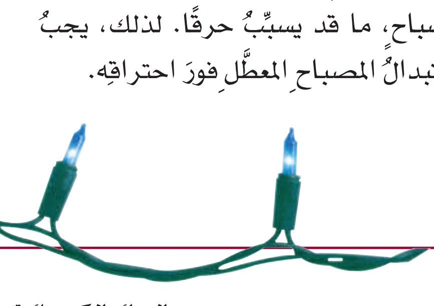
فتيل

توصيلةُ تخطٍّ

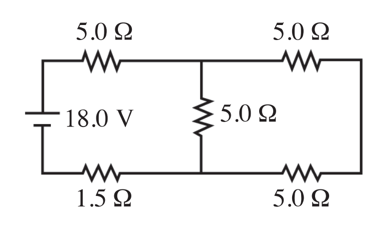
عازلٌ خارجيٌّ

لا يسري تيّارٌ في السلكِ المعزولِ عندَما يكونُ المصباحُ في حالةٍ طبيعيَّةٍ. لكن، عندَما يتعطَّلُ المصباحُ أو يحترقُ، يصبحُ التيّارُ في ذلك الجزءِ من المصباحِ صفرًا، ويبلغُ فرقُ الجُهدِ بينَ السلكَيْنِ الموصَّلَيْنِ بالفتيلِ المقطوعِ، 220 V. يولِّدُ فرقُ الجُهدِ الكبيرُ هذا شرارةً بينَ السلكَيْن، تحرقُ العازلَ حولَ حلقةِ السلكِ الصغيرةِ، ما يجعلُها تغلقُ الدائرةَ، وتبقى المصابيحَ الأخرى في ذلك الجزءِ مضاءةً.

بما أن مقاوَمةَ الحلقةِ الصغيرةِ، في المصباحِ المحروقِ، قليلةٌ جدًّا، فإن المقاومةَ المكافئةَ لذلك الجُزءِ من المجموعةِ الضوئيَّةِ تنخفضُ، ويزدادُ التيّارُ. تسبِّبُ هذه الزيادةُ في التيّارِ ازديادًا بسيطًا في سطوعِ المصباحِ. عندَ احتراقِ المزيدِ من المصابيحِ، تزدادُ درجةُ الحرارةِ في كلِّ مصباحٍ، ما قد يسبِّبُ حرقًا. لذلك، يجبُ استبدالُ المصباحِ المعطَّلِ فورَ احتراقِه.



مراجعةُ القسم 8-3



الشكل 8-19

1. جدِ المقاومةَ المكافئةَ للدائرةِ المركَّبةِ الظاهرةِ في **الشكلِ 8-19**.

2. ما شدَّةُ التيّارِ في المقاومِ 1.5 Ω ضمنَ الدائرةِ المعقَّدةِ في **الشكلِ 8-19**؟

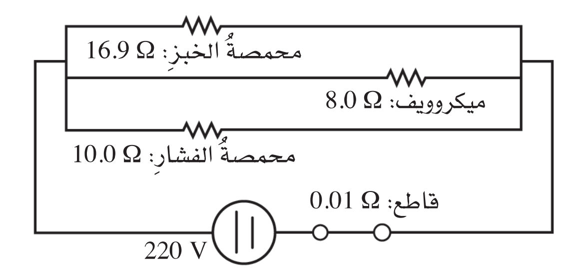
3. ما فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المقاومِ 1.5 Ω في **الشكلِ 8-19**؟

4. شريطٌ معيَّنٌ من أضواءِ الزينةِ يحتوي على 35 مصباحًا، موصولةٍ على التوالي، ومقاومةُ كلٍّ منها 15.0 Ω. ما المقاومةُ المكافئةُ لثلاثةِ أشرطةٍ منها، موصولةٍ على التوازي، عبرَ فرقِ جُهدٍ 220.0 V؟

5. ما شدَّةُ التيّارِ وفرقُ الجُهدِ بينَ طرفَي كلٍّ من مصابيحِ الأشرطةِ في السؤالِ 4؟

6. إذا احترقَ أحدُ المصابيحِ في أحدِ أشرطةِ الإنارةِ في السؤالِ 4، وبقيَتِ المصابيحُ الأخرى مضيئةً، فما شدَّةُ التيّارِ وفرقُ الجُهدِ عبرَ المصابيحِ المضيئةِ في الشريطِ؟

7. **تفسيرُ الرسومِ التمثيليَّةِ** يظهرُ **الشكلُ 8-20** دائرةً منزليَّةً بعدَّةِ أجهزةٍ، مع قاطعِ دائرةٍ موصولةٍ بمصدرٍ 220 V.
   أ. هل التيّارُ في محمصةِ الخبزِ مساويًا للتيّارِ في الميكروويفِ؟
   ب. هل فرقُ الجُهدِ عبرَ الميكروويفِ مساويًا لفرقِ الجُهدِ عبرَ محمصةِ الفشارِ؟
   ج. هل التيّارُ في قاطعِ الدائرةِ مساويًا للتيّارِ الكلّيِّ في جميعِ الأجهزةِ مجتمعةً؟
   د. احسبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.
   هـ. احسبْ شدَّةَ التيّارِ في محمصةِ الخبزِ.



الشكل 8-20

مِهَن الفيزياء

فتيُّ أشباهِ الموصِّلات

تُستعملُ الرقائقُ الإلكترونيَّةُ في الكثيرِ من الأجهزةِ بدءًا بألعابِ الأطفالِ وصولاً إلى الهواتفِ والحواسيب. لمعرفةِ المزيدِ عن مهنةِ تصنيعِ الرقائقِ الإلكترونيَّةِ، اقرأ هذه المقابلةَ مع براد بيركر وهو فتيُّ هندسةِ صناعةِ الكلاشيهاتِ في شركةِ موتورولا.



يقومُ براد بيركر بتحضيرِ مكوِّناتٍ كلاشيَّةٍ من أجل فحصِ عمليَّةٍ جديدة.

ما الشهاداتُ التي حصلْتَ عليها حتى أصبحْتَ فتيًّا في أشباهِ الموصِّلات؟

إنَّ شهادَتي في علمِ النفسِ تُعدُّ أمرًا غريبًا على مجالِ عملي. كان عليَّ الحصول على شهادة ليسانس أو ماجستير في مجالٍ يتعلَّقُ بالكهرباءِ أو الهندسة.

ما الذي حبَّبَكَ بتصنيعِ أشباهِ الموصِّلاتِ مقارنةً بالمجالاتِ الأخرى؟

في أثناءِ دراستي في الكليَّة، كنتُ أعملُ لدى إحدى شركاتِ الطيران. لم يكن هناك فرصٌ كثيرةٌ للتطوُّرِ في هذا العمل، وهذا ما دفعني للتفكيرِ في مجالاتٍ أخرى. هناك تشابهٌ كبيرٌ بين الدوائرِ الكهربائيَّةِ والطرائقِ البيولوجيَّةِ لعملِ الدماغ. وهذا ما درسْته في المدرسةِ حيثُ استعملْنا المنهجَ العلميَّ بشكلٍ مكثَّف.

ما طبيعةُ عملِك؟

أعملُ مع فريقِ تصنيعِ الكلاشيهاتِ. يقومُ مهندسو الأجهزةِ بتصميمِ موادِّ أشباهِ الموصِّلات، ويكونُ دورُنا تنفيذَ هذه التصاميم. دورُنا في ذلك يشبهُ دورَ الطهاةِ الذي ينفِّذونَ طبخةً معيَّنة. وعندما تتوفَّرُ لديك الخبرةُ الكافية، يمكنُك معرفةُ المكوِّناتِ المطلوبِ إضافتُها.

ما أكثرُ ما تحبُّهُ في عملِك؟

أشعرُ بأنني عالِمٌ، ذلك أنَّ الشركةَ تسمحُ لنا بأن نجرِّبَ أشياءَ جديدةً ونطوِّرُ عمليّاتٍ جديدةً.

هل تغيَّرَتْ طبيعةُ عملِك منذُ أن بدأت بالعملِ في هذا المجال؟

كلُّ جيلٍ من الأجهزةِ يصبحُ أصغرَ من الجيلِ السابق، لذلك علينا أن نصنعَ مكوِّناتٍ أكثرَ في مساحةٍ أصغر. وكلّما أصبحَ الجهازُ أصغرَ، يصبحُ التحدّي أكبرَ في الحصولِ على تصميمٍ فعّالٍ يؤدّي إلى كلاشيهاتٍ مناسبةٍ لا تزيدُ فيها شدَّةُ الحُفَرِ ولا تنقصُ عن المستوى المطلوب.

ما الذي تنصحُ به الطلاّبَ الذين يودّون أن يصبحوا مهندسي أشباهِ موصِّلات؟

لهذا المجالِ من العملِ علاقةٌ وطيدةٌ بالعلوم، لذلك عليهم الاختيارَ بين اختصاصاتِ الهندسةِ الكيميائيَّةِ أو الهندسةِ الكهربائيَّةِ أو علومِ الموادّ. وما يزيدُ من تمكُّنِهم في هذا المجال فهمُهُم للمشكلاتِ والتصدّي لها، ومعرفةُ تقنيّاتِ حلِّ العقدِ المستعصية، والصبرُ، والمهاراتُ التحليليَّة. وبما أنّ كلَّ شيءٍ يعملُ بالحاسوبِ، فعليهم معرفةُ استعمالِ الحواسيب.

ملخَّصُ الفصل 8

مصطلحاتٌ أساسيَّة

الرسمُ التخطيطيّ
Schematic diagram (ص 246)

الدائرةُ الكهربائيَّةُ
Electric circuit (ص 248)

على التوالي Series (ص 253)

على التوازي Parallel (ص 257)

أفكارٌ أساسيَّة

القسم 8-1 رسومٌ تخطيطيَّةٌ ودوائرُ كهربائيَّةٌ

- تستعملُ المخطَّطاتُ التمثيليَّةُ رموزًا معياريَّةً لتمثِّلَ محتوياتِ الدوائرِ الكهربائيَّةِ.
- الدائرةُ مجموعةٌ من مكوِّناتٍ كهربائيَّةٍ موصولةٍ بشكلٍ يوفِّرُ مسارًا كاملاً، أو أكثرَ، لحركةِ الشحناتِ.
- أيُّ أداةٍ أو جهازٍ يحوِّلُ الطاقةَ غيرَ الكهربائيَّةِ إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ، كالبطّاريَّةِ، وبقوَّةٍ محرِّكةٍ كهربائيَّةٍ (ε)، يُعدُّ مصدرًا للطاقةِ الكهربائيَّةِ.
- إذا أهملْنا المقاوَمةَ الداخليةَ للبطّاريَّةِ، تصبحُ ε مساويةً للفولتيَّةِ القطبيَّةِ، أي لفرقِ الجُهدِ بين قطبَيِ البطّاريَّةِ.

القسم 8-2 مقاوِماتٌ موصولةٌ على التوالي أو على التوازي

- لمقاوِماتِ التوالي التيّارُ نفسُه.
- المقاوَمةُ المكافئةُ لمجموعةٍ من المقاوِماتِ موصولةٍ على التوالي، تساوي مجموعَ المقاوَماتِ.
- مجموعُ التيّاراتِ في مقاوِماتٍ على التوازي يُساوي التيّارَ الكلّيَّ.
- المقاوَمةُ المكافئةُ لمجموعةٍ من المقاوِماتِ موصولةٍ على التوازي تُحسبُ باستعمالِ علاقةِ مقلوبِ مجموعِ مقلوباتِ المقاوِماتِ.

القسم 8-3 مجموعاتٌ مركَّبةٌ من المقاوِمات

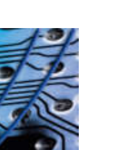
- يمكنُ التعاملُ مع بضعِ دوائرَ معقَّدةٍ بعزلِ مقاطعَ منها على التوالي أو على التوازي وتبسيطِها إلى مقاوِماتٍ مكافئةٍ.

رموزٌ بيانيَّةٌ

سلكٌ أو موصِّلٌ	
مقاوِمٌ أو حِملُ دائرةٍ	
مصباح	
قابس	
بطّارية/ مولِّدُ تيّارٍ مستمرٍّ (ذو emf)	+ −
مفتاح/قاطع	
مكثِّف	

رموزُ المتغيِّرات

الكمّيَّة	الرمز	الوحدة	التحويل
التيار	I	أمبير A	1 A = C/s
المقاوَمة	R	أوم Ω	1 Ω = V/A
فرقُ الجُهد	ΔV	ڤولت V	1 V = J/C



مراجعةُ الفصل 8

راجعْ وقيِّمْ



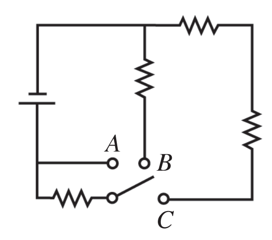
الرسومُ التخطيطيَّةُ والدوائرُ الكهربائيَّةُ

أسئلةُ مراجعة

1. ما فائدةُ المخطَّطاتِ التمثيليَّةِ للدوائرِ الكهربائيَّةِ؟

2. أنشئ رسمًا تمثيليًّا لدائرةٍ تحتوي على ثلاثِ مقاوِماتٍ، مقدارُ كل منها 5.0 Ω، وبطّاريَّةٍ 6.0 V، ومفتاح.

3. المفتاحُ الظاهرُ في الدائرةِ يمكنُ وصلُهُ بالنقاطِ *A* أو *B* أو *C*. أيٌّ منها يغلقُ الدائرةَ؟



4. إذا كانَ فرقُ جُهدِ بطّاريَّةٍ لمسجّلةٍ كهربائيَّةٍ يساوي 12.0 V، فما فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المسجّلةِ كلِّها؟

5. إذا كانَ لمقاوَمةِ البطّاريةِ الداخليَّةِ قيمةٌ لا يمكنُ تجاهلُها، فأيٌّ مما يلي، يكونُ الأكبرَ؟
أ. فرقُ الجُهدِ بينَ طرفَي بطّاريَّةٍ
ب. القوةُ المحرِّكةُ الكهربائيَّةُ ε للبطّاريَّةِ

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

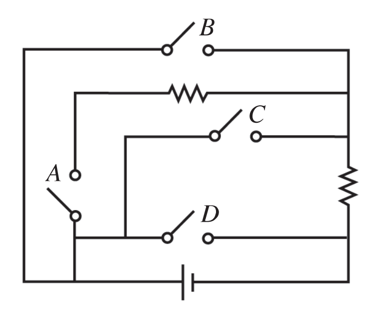
6. هل تتحرَّكُ الشحناتُ من المولِّدِ إلى الحملِ أم عبرَهما؟

7. افترضْ أنَّكَ ترغبُ في تصميمِ دائرةٍ فيها تيّارٌ، لمَ ينبغي عدمُ وجودِ فتحاتٍ في الدائرةِ؟

8. افترضْ أن بطّاريَّةً 9 V قد تمَّ وصلُها بمصباحٍ ضوئيٍّ. إلى أيِّ شكلٍ من أشكالِ الطاقةِ يُحوِّلُ المصباحُ طاقتهُ الكهربائيَّةُ التي اكتسبَها من البطّاريَّةِ؟

9. ما الخطرُ في استعمالِ جهازٍ كهربائيٍّ داخلَ الحمّامِ؟

10. أيُّ المفاتيحِ يكمِلُ الدائرةَ عندَ إغلاقِهِ؟ أيُّ المفاتيحِ يقصِّرُ الدائرةَ عندَ إغلاقِهِ؟



مقاوِماتٌ موصولةٌ على التوالي أو على التوازي

أسئلةُ مراجعة

11. عندَ توصيلِ أربعةِ مقاوِماتٍ في دائرةِ التوالي، فأيٌّ من التالي يبقى نفسَهُ للمقاوِماتِ في الدائرةِ؟
أ. فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المقاوِماتِ
ب. شدَّةُ التيّارِ في المُقاوِماتِ

12. عندَ توصيلِ أربعةِ مقاوِماتٍ في دائرةٍ على التوازي، فأيٌّ من التالي يبقى نفسَهُ للمقاوِماتِ في الدائرةِ؟
أ. فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المقاوِماتِ
ب. شدَّةُ التيّارِ في المُقاوِماتِ

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

13. دائرةُ تماسٍّ تحتوي على مسارٍ ذي مقاوَمةٍ ضعيفةٍ، على التوازي، مع جزءٍ آخرَ من الدائرةِ. ناقشْ تأثيرَ دائرةِ التماسِّ على التيّارِ في جزءِ المقاومةِ الضعيفةِ من الدائرةِ.

14. المنصهرُ يحمي الأجهزةَ الكهربائيَّةَ بفتحِ الدائرةِ إذا كانَ التيّارُ في الدائرةِ عاليًا جدًّا. هل ينفعُ استعمالُ منصهرٍ عند وصلِهِ على التوازي مع الجهازِ المفترضِ حمايتُه؟

15. ما الفائدةُ المرجوَّةُ من استعمالِ مقاومَيْن متشابهَيْن على التوازي، وموصولَيْن على التوالي مع زوجِ مقاومَيْن متشابهَيْن موصولَيْن على التوازي، كما يظهرُ أدناه، عوضًا عن استعمالِ مقاومٍ مفردٍ؟



مسائلُ تطبيقيّة

16. قُطِّعَ سلكٌ إلى خمسِ قطعٍ متساويةٍ، مقاومةُ كلٍّ منها $0.15\ \Omega$. ما مقاومةُ السلكِ الأصليّ؟

17. ثلاثةُ مقاوماتٍ $4.0\ \Omega$ و $8.0\ \Omega$ و $12\ \Omega$ موصولةٍ على التوالي مع بطّاريَّةٍ $24\ V$. جدْ ما يلي:

أ. المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.

ب. شدَّةَ التيّارِ في الدائرةِ.

18. وُصِّلَتِ المقاوماتُ في السؤالِ 17 على التوازي مع البطّاريَّةِ. جدْ ما يلي:

أ. المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.

ب. شدَّةَ التيّارِ في الدائرةِ.

19 المقاوماتُ $18.0\ \Omega$ و $9.00\ \Omega$ و $6.00\ \Omega$ موصولةٌ على التوازي، مع بطّاريَّةٍ $12\ V$. جدْ ما يلي:

أ. المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.

ب. شدَّةَ التيّارِ في الدائرةِ.

مجموعاتٌ مركَّبةٌ من المُقاوِماتِ

أسئلةٌ حولَ المفاهيم

20. تقنيٌّ لديهِ مُقاومان، مقاومةُ كلٍّ منهما R.

أ. بالاعتمادِ على ما لديهِ، ما عددُ المُقاوَماتِ المختلفةِ التي يستطيعُ التقنيُّ تحقيقَها؟

ب. عبِّرْ بدلالةِ R عن المقاوَمةِ المكافئةِ لكلِّ حالةٍ.

21. التقنيُّ في السؤالِ 20 يجدُ أن لديهِ مقاوِمًا آخرَ، إذًا هناك الآنَ ثلاثُ مقاوماتٍ، كلٌّ منها R.

أ. ما عددُ المقاوماتِ المختلفةِ التي يستطيعُ التقنيُّ تحقيقَها؟

ب. عبِّرْ بدلالةِ R عن المقاوَمةِ المكافئةِ لكلِّ حالةٍ.

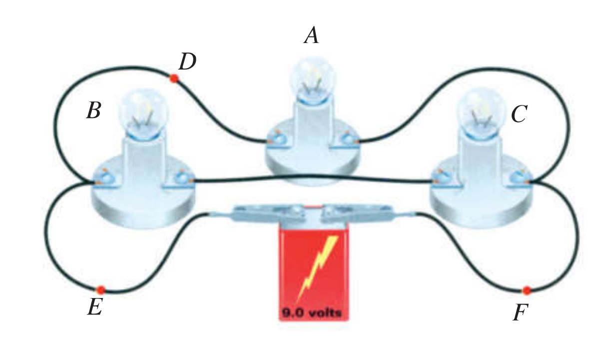
22. ثلاثةُ مصابيحَ ضوئيَّةٍ موصولةٍ مع بطّاريَّةٍ بالدائرةِ الظاهرةِ أدناه. قارنْ درجةَ سطوعِ كلِّ مصباحٍ عندَما تضيءُ جميعُها. ما الذي يحدثُ لسطوعِ كلِّ مصباحٍ إذا أجريَتْ على الدائرةِ التغيُّراتُ التاليةُ؟

أ. المصباحُ A أزيلَ من مقبسِه

ب. المصباحُ C أزيلَ من مقبسِه

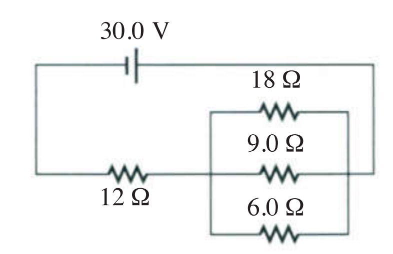
ج. وُصِلَ سلكٌ مباشرةً بينَ النقطتيْنِ D و E

د. وُصِلَ سلكٌ مباشرةً بينَ النقطتيْنِ D و F

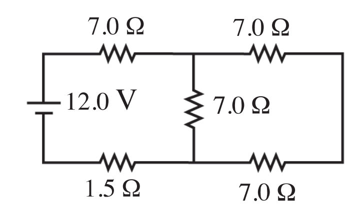


مسائلُ تطبيقيّة

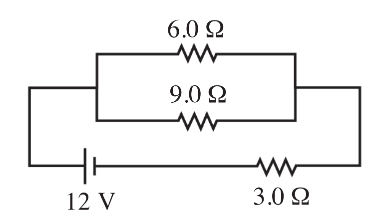
23. جدِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ الظاهرةِ أدناه.



24. جدِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ الظاهرةِ أدناه.



25. جدْ في الدائرةِ الظاهرةِ أدناه شدَّةَ التيَّارِ في كلِّ مقاومٍ، وفرقَ الجُهدِ بين طرفَيْه.



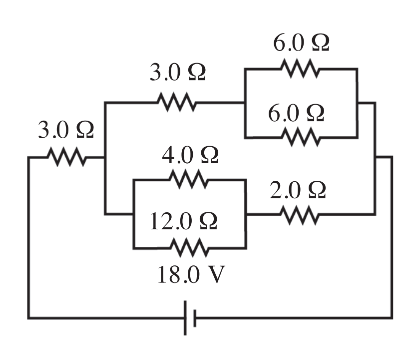
26. احسبْ ما يلي للدائرةِ الظاهرةِ في الشكلِ أدناه:

أ. التيّارَ في المقاومِ 2.0 Ω.

ب. فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَي المقاومِ 2.0 Ω.

ج. فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَي المقاومِ 12.0 Ω.

د. شدَّةَ التيّارِ في المُقاومِ 12.0 Ω.



مراجعةٌ عامَّة

27. المقاومان 8.0 Ω و 6.0 Ω موصولان على التوالي ببطّاريَّةٍ. جدْ فرقَ الجُهدِ بين قطبي البطّاريَّةِ، إذا كانَ فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المقاومِ 6.0 Ω يُساوي 12 V.

28. المقاومان 9.0 Ω و 6.0 Ω موصولان على التوازي ببطّاريَّةٍ. شدَّةُ التيّارِ في المقاومِ 6.0 Ω تساوي 0.25 A. جدْ فرقَ الجُهدِ بين قطبَي البطّاريَّةِ.

29. المقاومان 9.0 Ω و 6.0 Ω موصولان على التوالي ببطّاريَّةٍ. شدَّةُ التيّارِ في المقاومِ 9.0 Ω تساوي 0.25 A. جدْ فرقَ الجُهدِ بين طرفَي البطّاريَّةِ.

30. المقاومان 9.0 Ω و 6.0 Ω موصولان على التوالي بمصدرِ emf. فرقُ الجُهدِ، المقيسُ بوساطةِ ڤولتمتر بينَ طرفَي المقاومِ 6.0 Ω، يساوي 12 V. جدْ فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَي المصدرِ.

31. المُقاوِماتُ 18.0 Ω و 9.00 Ω و 6.00 Ω موصولةٌ على التوالي بمصدرِ emf. شدَّةُ التيّارِ المقيسةُ في المقاومِ 9.00 Ω تساوي 4.00 A.

أ. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للمُقاوِماتِ الثلاثِ في الدائرةِ.

ب. جدْ فرقَ الجُهدِ بين طرفَي المصدرِ.

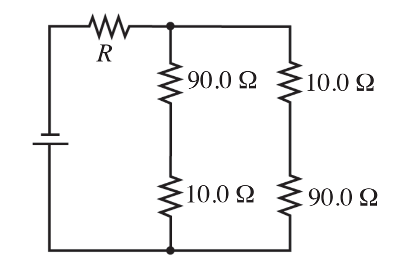
ج. جدْ شدَّةَ التيّارِ في المقاوِمَيْن الآخرَيْن.

32. يوجدُ في المخزنِ مجموعةٌ من مقاوِماتِ 20 Ω و 50 Ω فقط.

أ. تحتاجُ إلى مقاومٍ 45 Ω. كيف تحصلُ عليه مُستعملاً ثلاثةَ مقاوِماتٍ؟

ب. مستعملاً أربعةَ مقاوِماتٍ، صفْ طريقتَيْن تتمكَّنُ بهما من الحصولِ على مقاوَمةِ 35 Ω.

33. المقاوَمةُ المكافئةُ للدائرةِ الظاهرةِ أدناه مقدارُها 60.0 Ω. استعملِ المخطَّطَ لتحديدِ قيمة *R*.



34. خطّان سلكيّان متوازيان يحملُ كلٌّ منهما 25 مصباحًا موصولةً على التوالي معًا. إذا كانَتِ المقاوَمةُ المكافئةُ للترتيبِ 150.0 Ω، وفرقُ الجُهدِ بين طرفَيْها 220.0 V، فما مقاومةُ كلِّ مصباحٍ؟

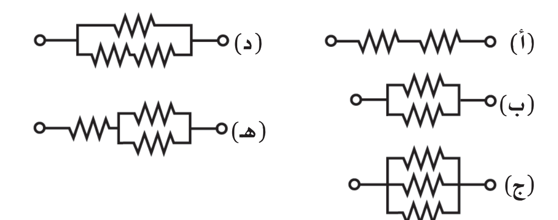
35. يظهرُ في الأشكالِ من (أ) إلى (هـ) خمسةُ مخطَّطاتٍ لمقاوِماتٍ. قيمةُ كلِّ مقاومٍ 6.0 Ω. أيُّ التشكيلاتِ مقاومتُها المكافئةُ:

أ. هي الكُبرى؟

ب. هي الصُغرى؟

ج. تُساوي 4.0 Ω؟

د. تُساوي 9.0 Ω؟



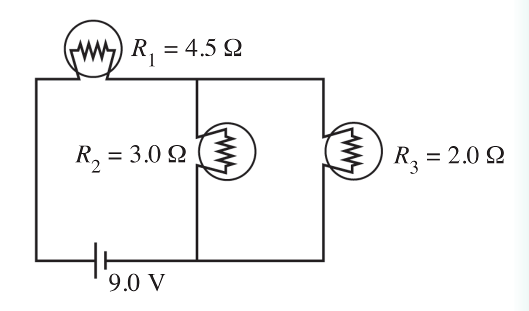
36. ثلاثةُ مصابيحَ صغيرةٍ موصولةٍ ببطّاريَّةٍ 9.0 V، كما يظهرُ في الشكلِ أدناه.

أ. احسُبِ المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.

ب. ما شدَّةُ التيّارِ الذي تزوِّدُ به البطّاريةُ الدائرةَ.

ج. ما شدَّةُ التيّارِ في كلِّ مصباحٍ؟

د. ما فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ كلِّ مصباحٍ؟



37. المقاومان 18.0 Ω و 6.0 Ω موصولان على التوالي ببطّاريةٍ 18.0 V. جدْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مقاومٍ وفرقَ الجُهدِ بين طرفَيْه.

38. مقاومٌ 30.0 Ω موصولٌ على التوازي مع مقاومٍ 15.0 Ω. المُقاومانِ موصولانِ على التوالي مع مقاومٍ 5.00 Ω بمصدرٍ بفرقِ جُهدٍ 30.0 V.

أ. ارسمْ مخطَّطًا تمثيليًّا لهذهِ الدائرةِ.

ب. احسبِ المقاومةَ المكافئةَ.

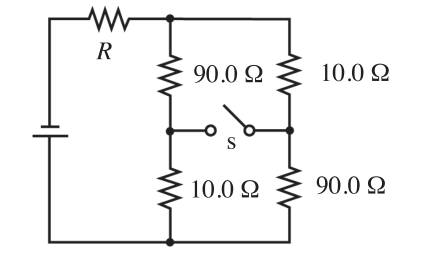
ج. احسبْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مُقاومٍ.

د. احسبْ فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْ كلِّ مُقاومٍ.

39. مقاومٌ مجهولُ القيمةِ موصولٌ على التوازي مع مقاومٍ 12 Ω. لدى وصلِهما بمصدرٍ 12 V تكونُ شدَّةُ التيّارِ المقيسةُ بوساطةِ الأميِّتر، والتي تسري في المقاومِ المجهولِ، 3.0 A. ما قيمةُ المقاومةِ المجهولةِ؟

40. المقاومانِ في السؤالِ 37 أعيدَ وصلُهما على التوازي بالبطّاريةِ 18.0 V نفسِها. جدْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مُقاومٍ، وفرقَ الجُهدِ بين طرفَيْه.

41. المقاومةُ المكافئةُ للدائرةِ الظاهرةِ في الشكلِ أدناه تنخفضُ إلى نصفِ قيمتِها الأصليَّةِ عند إغلاقِ المفتاحِ s. حدِّدْ قيمةَ R.



42. بإمكانِكَ الحصولُ على أربعةِ مُقاوِماتٍ فقط من المخزنِ، قيمةُ كلٍّ منها 20.0 Ω.

أ. كيف يمكنُكَ أن تحصُلَ مما توفَّرَ على مُقاوَمةٍ قيمتُها 50.0 Ω؟

ب. ماذا تستطيعُ أن تفعلَ إذا احتجْتَ إلى مُقاومٍ قيمتُه 5.0 Ω؟

43. أربعةُ مُقاوِماتٍ موصولةٍ ببطّاريَّةٍ 12.0 V، كما يظهرُ في الشكلِ. حدِّدْ:

أ. المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ

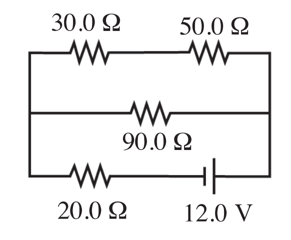
ب. شدَّةَ التيّارِ في البطّاريةِ

ج. شدَّةَ التيّارِ في المقاومِ 30.0 Ω

د. القدرةَ المفقودةَ على شكلِ حرارةٍ في المقاومِ 50.0 Ω

هـ. القدرةَ المفقودةَ على شكلِ حرارةٍ في المقاومِ 20.0 Ω

(ملاحظة: تذكَّرِ العلاقةَ $p = \frac{(\Delta V)^2}{R} = I\Delta V$)



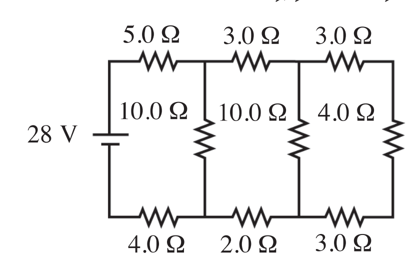
44. مُقاوِمان A و B موصولان على التوالي ببطّاريَّةٍ 6.0 V. فرقُ الجُهدِ المقيسُ بوساطةِ الفولتمر بينَ طرفَيِ المُقاومِ A، يساوي 4.0 V. عندَ وصلِ المقاومَيْن على التوازي مع البطّاريَّةِ 6.0 V، تكون شدَّةُ التيّارِ في المقاومِ B تساوي 2.0 A. جِدْ مقاومَتَي A و B.

45. ارسمْ مخطَّطًا لتسعةِ مقاوِمات، مقاوَمةُ كلٍّ منها 100 Ω، رتِّبها بشبكةِ توالٍ وتوازٍ، بحيثُ تساوي المقاوَمةُ الكلّيَّةُ للشبكةِ 100 Ω. يجبُ استعمالُ المقاوِماتِ التسعةِ جميعِها.

46. جِدْ، للدائرةِ أدناه:

أ. المقاومةَ المكافئةَ.

ب. شدَّةَ التيّارِ في المقاومِ 5.0 Ω.

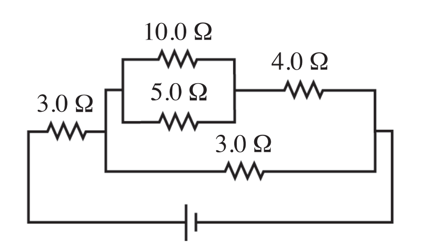


47. القدرةُ المتوفِّرةُ للدائرةِ أدناه تساوي 4.00 W. وظِّفِ المعلوماتِ في الشكلِ، لتجد:

أ. المقاومةَ المكافئةَ للدائرةِ.

ب. فرقَ الجُهدِ بينَ طرفَي البطّاريَّةِ.

(ملاحظة: تذكَّرِ العلاقة $p = \frac{(\Delta V)^2}{R}$.)



48. تبلغُ القدرةُ التي تطلقُها كلٌّ من محمصةِ الخبزِ وسخّانِ القهوةِ، 1200 W. هل تستطيعُ تشغيلَهما معًا في مطبخِك حيثُ فرقُ الجُهدِ بين طرفَي المقبسِ يساوي 220 V، وقاطعُ الدائرةِ مرمَّزٌ بـ 15 A؟ علِّلْ إجابتَك.

(ملاحظة: تذكَّرِ العلاقة $p = I\Delta V$.)

49. سخّانٌ كهربائيٌّ مرمَّزٌ بقدرةِ 1300 W، ومحمصةُ خبزٍ بقدرةِ 1100 W ومشوًى بقدرةِ 1500 W. الأجهزةُ الثلاثةُ موصولةٌ على التوازي بمصدرِ emf ذي 220 V.

أ. جدْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ جهازٍ.

ب. هل يكفي، في هذه الحالةِ، استعمالُ قاطعِ دائرةٍ مرمَّزٍ بـ 30.0 A؟ علِّلْ إجابتَك.

المشاريع والتقارير

1. بكم طريقةً يمكنُ توصيلُ بطّاريتَيْن أو ثلاثٍ في دائرةٍ، مع مصباحٍ ضوئيٍّ؟ كيفَ تتغيَّرُ شدَّةُ التيّارِ تبعًا للترتيبِ؟ ارسمْ أوّلاً مخطَّطاتٍ للدوائرِ التي تريدُ اختبارَها. ثمَّ حدِّدِ القياساتِ التي تلزمُكَ للإجابةِ عن السؤالِ. بعدَ موافقةِ المعلِّمِ، أحضرِ المعدّاتِ الضروريَّةِ، وأجرِ التجربةَ.

2. قمْ ببحثٍ حولَ مهنةِ الهندسةِ الكهربائيَّةِ، أو التقانةِ. حضِّرْ موادَّ للمهتمّين بهذا الحقلِ المهنيِّ. ضمِّنْ بحثَك معلوماتٍ عن أماكنِ عملِ هذه المهنةِ، والأدواتِ والمعدّاتِ المستعملةِ، وتحديّاتِ العملِ. أشرْ إلى نوعِ التدريبِ اللازمِ للدخولِ في هذا الحقلِ.

3. تلقّى صاحبُ مرأبٍ لتصليحِ السيّاراتِ وصيانتِها عرضَيْن من شركتَيْن تتنافسان على بيعِ آلاتِ قياسٍ لشدَّةِ التيّارِ الكهربائيِّ (الأمّيتر) تُستخدمُ في فحصِ أنظمةِ السيّارةِ الكهربائيَّةِ. إحدى الشركتَيْن ادّعَتْ أن الآلةَ التي تسوِّقُها هي الفُضلى، لأن مقاوَمتها الداخليَّةَ عاليةٌ. بينما ادّعتِ الشركةُ الأخرى أن ما تسوِّقُهُ هو الأفضلُ، لأن مقاومتَه الداخليَّةَ منخفضةٌ. اكتُبْ تقريرًا وضمِّنْه توصياتِك لصاحبِ المرأبِ، مع مخطَّطاتٍ وحساباتٍ تفسِّرُ كيف توصَّلْتَ إلى الاستنتاجاتِ.

4. ترغبُ أنت وصديقٌ لك في إنشاءِ شركةٍ لتصديرِ أجهزةٍ كهربائيَّةٍ صغيرةٍ. تعرَّفتَ أشخاصًا يرغبون في أن يكونوا شركاءَ لتوزيعِ هذه الأجهزةِ في بلدِك. اكتبْ رسالةً إلى هؤلاءِ الشركاءِ الراغبين، تصفُ فيها خطَّ تسويقِ المنتجِ وتسألُ عن المعلوماتِ اللازمةِ حولَ القدرةِ الكهربائيَّةِ، والبطّاريَّةِ والاستهلاكِ والتوزيعِ.

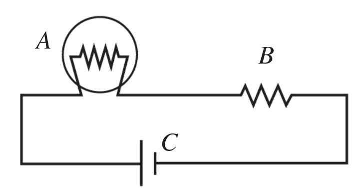
5. اتَّصلْ بكهربائيٍّ وبنّاءٍ أو مقاولٍ، واسألْهما عن مخطَّطِ كهرباءِ المنزلِ. ادرسِ المخطَّطَ، لتحدِّدَ قواطعَ الدوائرِ وتوصيلاتِهم لأجهزةِ المنزلِ المختلفةِ، والقيودَ التي يفرضونَها على تصميمِ الدائرةِ. استعلمْ عن شدَّةِ التيّارِ في كلِّ جهازٍ في المنزلِ. ارسمْ مخطَّطًا للمنزلِ يظهرُ كلَّ قاطعٍ والجهازَ الذي يتحكَّمُ فيه. يجب أن يبقيَ مخطَّطُك شدَّةَ التيّارِ في كلٍّ من هذهِ الأجهزةِ ضمنَ حدودِ الاستعمالِ الآمنِ.



تقويم الفصل 8

اختيارٌ من متعدِّد

استعملِ الشكلَ أدناه للإجابةِ عنِ الأسئلةِ 1-3.



1. أيُّ عناصرِ الدائرةِ أدناه يُساهمُ في حملِ الدائرةِ؟

أ. A فقط

ب. A و B وليسَ C

ج. C فقط

د. A و B و C

2. أيُّ مما يلي هو المعادلةُ الصحيحةُ للمقاوَمةِ المكافئةِ للدائرةِ؟

أ. $R_{\text{مكافئة}} = R_A + R_B$

ب. $\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B}$

ج. $R_{\text{مكافئة}} = I\Delta V$

د. $\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$

3. أيُّ مما يلي هو المعادلةُ الصحيحةُ للتيّارِ في المقاوِمِ؟

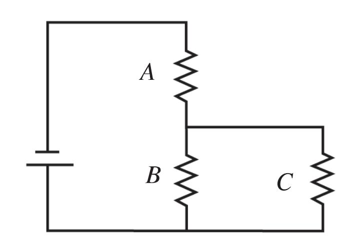
أ. $I = I_A + I_B + I_C$

ب. $I_B = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}}$

ج. $I_B = I_{\text{كلية}} + I_A$

د. $I_B = \frac{\Delta V}{R_B}$

استعملِ الشكلَ أدناه للإجابةِ عن السؤالَيْن 4-5.



4. أيُّ مما يلي هو المعادلةُ الصحيحةُ للمقاومةِ المكافئةِ للدائرةِ؟

أ. $R_{\text{مكافئة}} = R_A + R_B + R_C$

ب. $\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}$

ج. $R_{\text{مكافئة}} = I\Delta V$

د. $R_{\text{مكافئة}} = R_A + \left(\frac{1}{R_B} + \frac{1}{R_C}\right)^{-1}$

5. أيٌّ ممّا يلي هو المعادلةُ الصحيحةُ للتيّارِ في المقاوِمِ B؟

أ. $I = I_A + I_B + I_C$

ب. $I_B = \frac{\Delta V}{R_{\text{مكافئة}}}$

ج. $I_B = I_{\text{كلية}} + I_A$

د. $I_B = \frac{\Delta V_B}{R_B}$

6. ثلاثةُ مُقاوِماتٍ متساويةٍ كلٌّ منها 2.0 Ω موصولةٍ على التوالي ببطّاريَّةٍ 12 V. ما فرقُ الجُهدِ بين طرفَيِ كلِّ مُقاوِمٍ؟

أ. 2.0 V

ب. 4.0 V

ج. 12 V

د. 36 V

استعمل النصَّ التالي للإجابةِ عن الأسئلةِ 7-9.

ستّةُ مصابيحَ ضوئيَّةٍ موصولةٍ على التوازي ببطّاريَّةٍ 9.0 V. لكلِّ مصباحٍ مقاومةٌ 3.0 Ω.

7. ما فرقُ الجُهدِ بين طرفَيْ كلِّ مصباحٍ؟
أ. 1.5 V
ب. 3.0 V
ج. 9.0 V
د. 27 V

8. ما شدَّةُ التيّارِ في كلِّ مصباحٍ؟
أ. 0.5 A
ب. 3.0 A
ج. 4.5 A
د. 18 A

9. ما شدَّةُ التيّارِ الكلّيِّ في الدائرةِ؟
أ. 0.5 A
ب. 3.0 A
ج. 4.5 A
د. 18 A

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ قصيرةٍ

10. أيُّهما أكبرُ: فرقُ الجُهدِ الخارجيُّ بين طرفَيِ البطّاريَّةِ، أم emf البطّاريّةِ نفسِها؟ لمَ هاتان الكمّيَّتان غيرُ متساويتَيْن؟

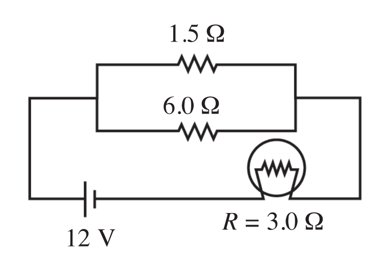
11. كيفَ تؤدّي دائرةُ تماسٍّ إلى حريقٍ؟

12. ما فائدةُ توصيلِ مصابيحِ خيطِ الزينةِ على التوازي عوضًا عن التوالي؟

أسئلةٌ ذاتُ إجابةٍ مطوَّلةٍ

13. مستعملاً رموزًا معياريَّةً لعناصرِ الدائرةِ، ارسمْ مخطَّطًا لدائرةٍ تحتوي على بطّاريةٍ ومفتاحِ دائرةٍ، ومصباحٍ على التوازي مع مقاومٍ. أضفْ سهمًا يشيرُ إلى اتِّجاهِ التيّارِ عندَ إغلاقِ المفتاحِ.

استعملِ الشكلَ أدناه للإجابةِ عن السؤالَيْن 14-15.

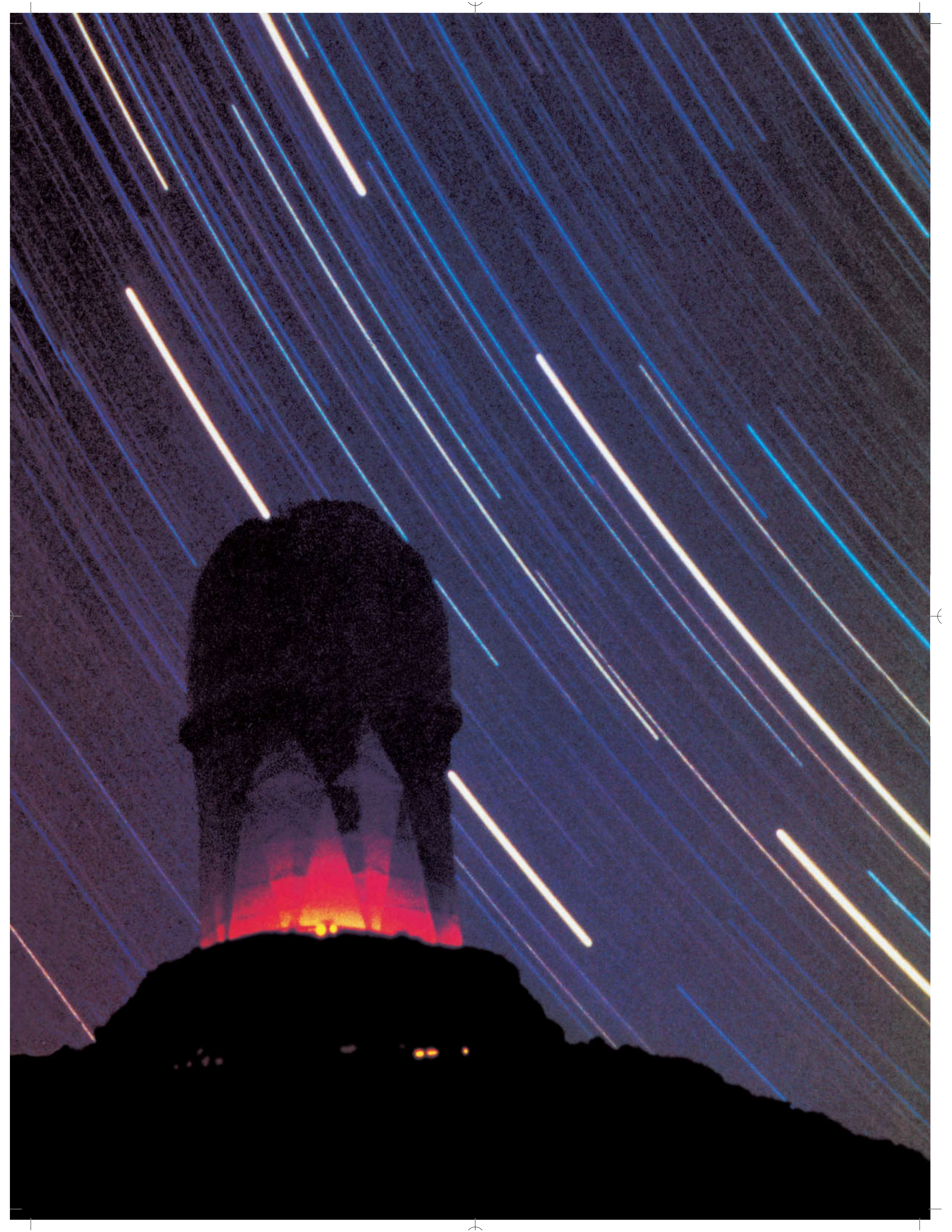


14. احسُبِ التاليَ للدائرةِ الظاهرةِ:
أ. المقاوَمةَ المكافئةَ للدائرةِ.
ب. شدَّةَ التيّارِ في المصباحِ.
بيِّنْ عملَك الحسابيَّ.

15. بعدَ فترةٍ زمنيةٍ، يحترقُ المقاومُ 6.0 Ω وينقطعُ. بيِّنْ ما يحدثُ لسطوعِ المصباحِ. علِّلْ إجابتَك.

16. جدْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مقاومٍ، وفرقَ الجُهدِ بينَ طرفَيْه، في الدوائرِ التاليةِ:
أ. مُقاوِمان 4.0 Ω و 12.0 Ω موصولانِ على التوالي مع مصدرٍ 4.0 V.
ب. مُقاوِمان 4.0 Ω و 12.0 Ω موصولانِ على التوازي مع مصدرٍ 4.0 V.

17. جدْ شدَّةَ التيّارِ في كلِّ مقاومٍ، وفرقَ الجُهدِ بين طرفَيْه في الدوائرِ التاليةِ:
أ. مُقاوِمان 150 Ω و 180 Ω موصولانِ على التوالي مع مصدرٍ 12 V.
ب. مُقاوِمان 150 Ω و 180 Ω موصولانِ على التوازي مع مصدرٍ 12 V.
بيِّنْ عملَك الحسابيَّ.



قسمُ الملاحق

الملاحق

الملحق (أ): مراجعةٌ في الرياضيّات

الترميزُ العلميّ

قوى العشَرةِ الموجبةِ

الكثيرُ من الكمّيّاتِ التي يتعاملُ بها العلماءُ تكونُ، في الغالبِ، كبيرةً جدًّا أو صغيرةً جدًّا. فللضوءِ مثلاً سرعةٌ مقدارُها حوالي 300 000 000 m/s، والحبرُ اللازمُ لوضعِ نقطةٍ على حرفٍ تبلغُ كتلتُه 0.000 000 001 kg. يربكُنا التعاملُ مع أرقامٍ كهذه. ولتفادي هذا الإرباكِ نستعملُ طريقةً تعتمدُ على قوى الرقمِ 10.

$$10^0 = 1$$

$$10^1 = 10$$

$$10^2 = 10 \times 10 = 100$$

$$10^3 = 10 \times 10 \times 10 = 1000$$

$$10^4 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 10\,000$$

$$10^5 = 10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100\,000$$

قوةُ الرقمِ عشَرَة، أو أُسُّ الرقمِ عشرة، تحدِّدُ عددَ الأصفارِ، فنكتبُ سرعةَ الضوءِ التي تبلغُ 300 000 000 m/s على شكلِ 3×10^8 m/s. ويكونُ في هذه الحالةِ أسُّ العشرةِ الرقمَ 8.

قوى العشَرةِ السالبةِ

للأرقامِ التي تقِلُّ عن 1، نلاحظُ ما يلي:

$$10^{-1} = \frac{1}{10} = 0.1$$

$$10^{-2} = \frac{1}{10 \times 10} = 0.01$$

$$10^{-3} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10} = 0.001$$

$$10^{-4} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.0001$$

$$10^{-5} = \frac{1}{10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10} = 0.000\,01$$

تساوي قيمةُ القوةِ السالبةِ عددَ الخاناتِ التي يجبُ أن تقطعَها الفاصلةُ يمينًا لتصبحَ إلى يمينِ خانةِ الرقمِ الأولِ غيرِ الصفرِ (الخانةُ في هذه الحالةِ هي 1). والطريقةُ التي تُكتبُ بها الأعدادُ هي، من 1 إلى أقلَّ من عشرةٍ، على شكلِ رقمٍ مضروبٍ بقوةِ العشرةِ الموجبةِ أو السالبةِ، تُسمَّى الترميزَ العلميَّ. نكتبُ مثلاً العدد 5 943 000 000 على الشكلِ 5.943×10^9، وبطريقةِ الترميزِ العلميِّ، كذلك نكتبُ 0.000 083 2 على الشكلِ 8.32×10^{-5}.

الضربُ والقسمةُ باستعمالِ الترميزِ العلميِّ

عند ضربِ الأرقامِ المكتوبةِ بطريقةِ الترميزِ العلميِّ يمكنُ استعمالُ القاعدةِ التاليةِ:

$$10^{n} \times 10^{m} = 10^{(m+n)}$$

يمكنُ لـ n و m أن يكونَ كلٌّ منهما أيَّ عددٍ، وليس بالضرورةِ عددًا صحيحًا. مثلاً، $10^{2} \times 10^{5} = 10^{7}$ بينما $10^{1/4} \times 10^{1/2} = 10^{3/4}$. تُطبَّقُ هذه القاعدةُ أيضًا على القوى السالبةِ، فمثلاً: $10^{3} \times 10^{-8} = 10^{-5}$. وعند قسمةِ الأعدادِ المكتوبةِ بالترميزِ العلميِّ، نلاحظُ ما يلي:

$$\frac{10^{n}}{10^{m}} = 10^{n} \times 10^{-m} = 10^{(n-m)}$$

فمثلاً، $\frac{10^{3}}{10^{2}} = 10^{(3-2)} = 10^{1}$

الكسور

يلخّصُ **الجدول 1**(أ) قواعدَ عمليّاتِ ضربِ الكسورِ وقسمتِها وجمعِها وطرحِها، حيث a وb وc وd هي أربعةُ أرقامٍ.

الجدول 1(أ) العملياتُ الأساسيَّةُ للكسورِ

العملية	القاعدة	المثال
الضرب	$\left(\frac{a}{b}\right)\left(\frac{c}{d}\right) = \frac{ac}{bd}$	$\left(\frac{2}{3}\right)\left(\frac{4}{5}\right) = \frac{(2)(4)}{(3)(5)} = \frac{8}{15}$
القسمة	$\frac{\left(\frac{a}{b}\right)}{\left(\frac{c}{d}\right)} = \frac{ad}{bc}$	$\frac{\left(\frac{2}{3}\right)}{\left(\frac{4}{5}\right)} = \frac{(2)(5)}{(3)(4)} = \frac{5}{6}$
الجمعُ والطرحُ	$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}$	$\frac{2}{3} - \frac{4}{5} = \frac{(2)(5) - (3)(4)}{(3)(5)} = -\frac{2}{15}$

القوى

قواعدُ الأُسِّ

عند ضربِ كمّيّةٍ معيّنةٍ (x) قوتُها (m) في الكمّيّةِ نفسِها وقوتُها (n)، نطبِّقُ قاعدةَ الترميزِ العلميِّ كما يلي:

$$(x^{n})(x^{m}) = x^{(n+m)}$$

مثلاً، $(x^{2})(x^{4}) = x^{(2+4)} = x^{6}$

عند قسمةِ قوًى مختلفةٍ للكمّيّةِ نفسِها نلاحظُ:

$$\frac{x^{n}}{x^{m}} = x^{(n-m)}$$

مثلاً، $\frac{x^{8}}{x^{2}} = x^{(8-2)} = x^{6}$

القوةُ التي على شكلِ كسرٍ مثل $\frac{1}{3}$ ، تصبحُ جذرًا كما يلي:

$$x^{1/n} = \sqrt[n]{x}$$

مثلاً، $4^{1/3} = \sqrt[3]{4} = 1.5874$ (يمكنُ الاستفادةُ من الآلةِ الحاسبةِ لهذه الحساباتِ.)
أخيرًا، عند رفعِ كمّيَّةِ x^n إلى القوةِ m تصبحُ كما يلي:

$$(x^n)^m = x^{nm}$$

مثلاً، $(x^2)^3 = x^{(2)(3)} = x^6$
يلخّصُ **الجدولُ 2** (أ) القواعدَ الأساسيَّةَ للأُسِّ.

الجدول 2(أ) القواعدُ الأساسيَّةُ للأُسِّ

$(x^n)(x^m) = x^{(n+m)}$	$x^1 = x$	$x^0 = 1$
$(x^n)^m = x^{(nm)}$	$x^{1/n} = \sqrt[n]{x}$	$\frac{x^n}{x^m} = x^{(n-m)}$

الجبر

حسابُ المجهول

عند قيامِنا بعمليّاتٍ جبريَّةٍ، نطبِّقُ قوانينَ الحسابِ. تمثِّلُ الرموزُ، مثلُ x، y، z، عادةً كمّيَّاتٍ غيرَ محدَّدةٍ «المجهولاتِ».
لنأخذْ أولاً المعادلةَ:

$$8x = 32$$

إذا أردْنا حسابَ x، نقسِمُ جانبَيِ المعادلةِ على المعاملِ نفسِهِ دون تغييرٍ في المعادلةِ. في هذه الحالةِ إذا قسمْنا الجانبَيْنِ على 8 نحصلُ على:

$$\frac{8x}{8} = \frac{32}{8}$$

$$x = 4$$

لنأخذْ بعدَها المعادلةَ التاليةَ:

$$x + 2 = 8$$

في هذا النوعِ من المعادلاتِ، نجمعُ أو نطرحُ كمّيَّةً واحدةً من كلِّ طرفٍ. إذا طرحْنا 2 من كلِّ طرفٍ نحصلُ على التالي:

$$x + 2 - 2 = 8 - 2$$

$$x = 6$$

وبشكلٍ عامٍّ $x + a = b$ تُحوَّلُ إلى $x = b - a$
لنأخذ الآنَ المعادلةَ التاليةَ:

$$\frac{x}{5} = 9$$

إذا ضربْنا كلَّ طرفٍ في 5، تبقى x وحدَها في الجهةِ اليسرى والقيمةُ 45 في الجهةِ اليمنى.

$$(5)\left(\frac{x}{5}\right) = (9)(5)$$

$$x = 45$$

في جميعِ الحالاتِ، ما يطبَّقُ من عملياتٍ على الجهةِ اليسرى يجبُ أن يطبَّقَ على الجهةِ اليمنى.

التحليلُ إلى عواملَ

يبيِّنُ **الجدولُ 3** (أ) بعضَ المعادلاتِ المفيدةِ لتحليلِ المعادلةِ إلى عواملَ.
يمكنُ مثلاً كتابةُ المعادلةِ $5x + 5y + 5z = 0$ على الشكلِ $5(x + y + z) = 0$، حيثُ يسمَّى الرقمُ 5 عاملاً مشترَكًا.
أما التعبيرُ $a^2 + 2ab + b^2$، الذي يُعدُّ مثالاً على مربَّعٍ كاملٍ، فيمكنُ أن يُكتبَ: $(a + b)^2$.
إذا كانَتْ $a = 2$ و $b = 3$، عندَها تصبحُ المعادلةُ: $2^2 + (2)(2)(3) + 3^2 = (2 + 3)^2$،
أو $25 = (4 + 12 + 9)$، وأخيرًا $5^2 = 25$.
وكمثالٍ على الفرقِ بين عددَيْنِ مربَّعَيْنِ نأخذُ $a = 6$ و $b = 3$.
في هذه الحالةِ $(6 - 3)(6 + 3) = (6^2 - 3^2)$ أو $(36 - 9) = (9)(3) = 27$.

الجدول 3(أ) معادلاتُ التحليلِ إلى عواملَ

عاملٌ مشتركٌ	$ax + ay + az = a(x + y + z)$
مربَّعٌ كاملٌ	$(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$
الفرقُ بين عددَيْنِ مربَّعَيْنِ	$a^2 - b^2 = (a + b)(a - b)$

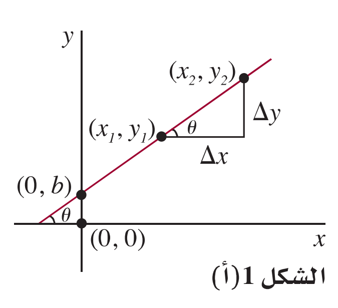
المعادلاتُ الخطِّيَّةُ

للمعادلةِ الخطّيَّةِ الشكلُ العامُّ التالي:

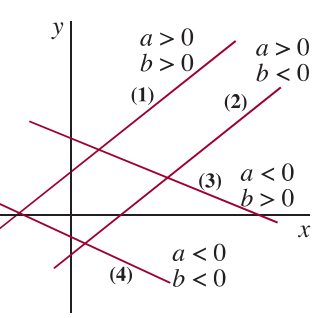
$$y = ax + b$$

حيث a و b ثابتان. تُسمَّى هذه المعادلةُ معادلةً خطّيَّةً، لأن منحنى y بالنسبةِ لـ x هو خطٌّ مستقيمٌ، كما يظهرُ في **الشكل 1** (أ). يسمَّى الثابتُ b التقاطعَ مع المحورِ y. ويساوي الثابتُ a ميلَ الخطِّ المستقيمِ، ويساوي أيضًا ظلَّ الزاويةِ بين هذا الخطِّ والمحورِ x، أي θ. إذا حدَّدنا على الخطِّ، إحداثياتِ النقطتَيْنِ (x_1, y_1) و (x_2, y_2)، كما في **الشكل 1** (أ)، يكونُ ميلُ الخطِّ المستقيمِ:

$$\text{الميل} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$



الشكل 1(أ)



الشكل 2 (أ)

لنأخذْ مثلاً النقطتَيْن (2،4) و (6،9)، مع هذه القيم يكونُ ميلُ الخطِّ:

$$\text{الميل} = \frac{(9-4)}{(6-2)} = \frac{5}{4}$$

لاحظْ أنه يمكنُ لكلٍّ من a وb أن تكونَ موجبةً أو سالبةً. يكونُ ميلُ الخطِّ المستقيمِ موجبًا إذا كانَتْ $a > 0$، وسالبًا إذا كانَتْ $a < 0$. بالإضافةِ إلى ذلك يكونُ التقاطعُ مع محورِ y موجبًا إذا كانَتْ $b > 0$، وسالبًا إذا كانَتْ $b < 0$. يبيِّنُ **الشكلُ 2** (أ) أمثلةً على الحالاتِ الأربعِ السابقةِ، التي لخَّصَها **الجدولُ 4** (أ).

الجدول 4 (أ) المعادلاتُ الخطِّيَّةُ

الثوابت	الميل	التقاطعُ مع y
$a > 0, b > 0$	موجب	موجب
$a > 0, b < 0$	موجب	سالب
$a < 0, b > 0$	سالب	موجب
$a < 0, b < 0$	سالب	سالب

التحويلُ بين الكسورِ والأعدادِ العُشريَّةِ والنسبِ المئويَّةِ

يلخِّصُ **الجدولُ 5** (أ) قواعدَ تحويلِ الأعدادِ من كسورٍ إلى أعدادٍ عُشريَّةٍ ونسبٍ مئويَّةٍ، ومن نسبٍ مئويَّةٍ إلى أعدادٍ عُشريَّةٍ.

الجدول 5 (أ) التحويلات

التحويل	القاعدة	المثل
من كسرٍ إلى عددٍ عُشريٍّ	اقسِمِ الصورةَ على المخرجِ	$\frac{31}{45} = 0.69$
من كسرٍ إلى نسبةٍ مئويَّةٍ	حوِّلْ إلى عددٍ عشريٍّ ثم اضربْ في 100%	$\frac{31}{45} = (0.69)(100\%) = 69\%$
من نسبةٍ مئويَّةٍ إلى عددٍ عُشريٍّ	حرِّكِ الفاصلةَ خانتَيْنِ إلى اليسارِ، وتخلَّصْ من إشارةِ النسبةِ المئويَّةِ	$69\% = 0.69$

الجدول 6 (أ) يعطي معادلاتِ المساحةِ والحجمِ لأشكالٍ هندسيَّةٍ متنوِّعةٍ تردُ في هذا الكتابِ.

الجدول 6 (أ) المساحاتُ والحجومُ الهندسيَّةُ

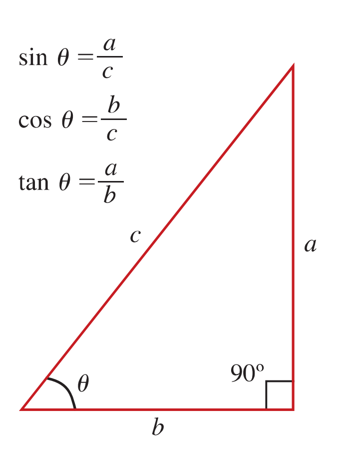
أشكالٌ هندسية		معادلات
l, w	المستطيل	المساحة = lw المحيط = $2\ (l + w)$
r	الدائرة	المساحة = πr^2 المحيط = $2\pi r$
h, b	المثلث	المساحة = $\frac{1}{2}bh$
r	الكرة	مساحةُ السطحِ = $4\ \pi r^2$ الحجم = $\frac{4}{3}\pi r^3$
l, r	الأسطوانة	الحجم = $\pi r^2 l$ المساحةُ الجانبيَّةُ = $2\pi rl$
w, h, l	الصندوقُ المستطيلُ	مساحةُ السطحِ = $2(lh + lw + hw)$ الحجم = lwh

علمُ المثلّثاتِ ونظريةُ فيثاغورس

علمُ المثلّثاتِ هو فرعُ الرياضيّاتِ الذي يتعلّقُ بخصائصِ المثلّثِ قائمِ الزاويةِ. وتعدُّ معظمُ مفاهيمِ هذا الفرعِ ذاتَ أهمّيّةٍ قصوى في دراسةِ الفيزياءِ. لمراجعةِ بعضِ المفاهيمِ الأساسيّةِ في علمِ المثلّثاتِ، نأخذُ مثلّثًا قائمَ الزاويةِ، كالذي في **الشكل 3** (أ)، حيثُ الضلعُ a مقابلٌ للزاويةِ θ، والضلعُ b مجاورٌ لها، والضلعُ c وترُ المثلّثِ. يلخّصُ **الجدولُ 7** (أ)، بالاستنادِ إلى **الشكل 3** (أ)، معظمَ الدوالِّ المثلّثيّةِ الأساسيّةِ.

الجدولُ 7 (أ) الدوالُّ المثلّثيّةُ

الجيب (sin)	$sin\ \theta = \dfrac{a}{c} = \dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}$
جيبُ التمامِ (cos)	$cos\ \theta = \dfrac{b}{c} = \dfrac{\text{الضلعُ المجاورُ لـ } \theta}{\text{الوتر}}$
الظلّ (tan)	$tan\ \theta = \dfrac{a}{b} = \dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلعِ المجاورُ}}$
الجيبُ العكسيُّ (sin^{-1})	$sin^{-1}\left(\dfrac{a}{c}\right) = sin^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}\right) = \theta$
جيبُ التمامِ العكسيُّ (cos^{-1})	$cos^{-1}\left(\dfrac{b}{c}\right) = cos^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعُ المجاورَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}\right) = \theta$
الظلُّ العكسيُّ (tan^{-1})	$tan^{-1}\left(\dfrac{a}{b}\right) = tan^{-1}\left(\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلعِ المجاورِ لـ } \theta}\right) = \theta$



الشكل 3 (أ)

فمثلاً، إذا كانَ قياسُ الزاويةِ $\theta = 30°$، تكونُ نسبةُ a إلى c دائمًا 0.50، ومعنى ذلك أن $\sin 30° = 0.50$. وليس لدوالِّ الجيبِ وجيبِ التمامِ والظلِّ أيُّ وحداتِ قياسٍ، لأنها تمثّلُ نسبةَ طولَيْن. لاحظْ أيضًا العلاقةَ التاليةَ:

$$\frac{\sin\ \theta}{\cos\ \theta} = \frac{\dfrac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الوتر}}}{\dfrac{\text{الضلعِ المجاورِ لـ } \theta}{\text{الوتر}}} = \frac{\text{الضلعَ المقابلَ لـ } \theta}{\text{الضلعِ المجاورِ لـ } \theta} = \tan\ \theta$$

بعضُ العلاقاتِ المثلّثيّةِ الإضافيّةِ هي التاليةُ:

$$\sin^2\ \theta + \cos^2\ \theta = 1$$

$$\sin\ \theta = \cos\ (90° - \theta)$$

$$\cos\ \theta = \sin\ (90° - \theta)$$

حسابُ ضلعٍ مجهولٍ

يمكنُ استعمالُ الدوالِّ الثلاثِ الأولى الواردةِ في **الجدول 7** (أ) لحسابِ ضلعٍ مجهولٍ في مثلَّثٍ قائمِ الزوايةِ لدى معرفتِنا طولَ أحدِ الأضلاعِ و قياسِ إحدى الزاويتَيْن (غيرِ القائمةِ). فمثلاً إذا كانَت $\theta = 30°$ و $a = 1.0$ m، نحسُبُ الضلعَيْنِ الآخرَيْنِ للمثلَّثِ على الشكلِ التالي:

$$\sin\theta = \frac{a}{c}$$

$$c = \frac{a}{\sin\theta} = \frac{1.0 \text{ m}}{\sin 30°}$$

$$\boxed{c = 2.0 \text{ m}}$$

$$\tan\theta = \frac{a}{b}$$

$$b = \frac{a}{\tan\theta} = \frac{1.0\text{m}}{\tan 30°}$$

$$\boxed{b = 1.7 \text{ m}}$$

حسابُ زاويةٍ مجهولةٍ

قد يتوفَّرُ لنا في بعضِ الحالاتِ معرفةُ الجيبِ أو جيبِ التمامِ أو ظلِّ زاويةٍ، ونحتاجُ أن نحدِّدَ قيمةَ الزاويةِ نفسِها هنا. يمكنُ، لهذا الغرضِ، استعمالُ دوالِّ الجيبِ العكسيِّ، وجيبِ التمامِ العكسيِّ، والظلِّ العكسيِّ، الواردةِ في **الجدول 7** (أ).

فمثلاً إذا كانَ $a = 1.0$ m و $c = 2.0$ m نحسُبُ الزاويةَ θ باستعمالِ دالَّةِ الجيبِ العكسيِّ $\sin^{-1}$ كما يلي:

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{a}{c}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.0 \text{ m}}{2.0 \text{ m}}\right) = \sin^{-1}(0.50)$$

$$\boxed{\theta = 30°}$$

نظريةُ فيثاغورس

هي نظريَّةٌ مفيدةٌ في مثلَّثٍ قائمِ الزاويةِ. إذا كانَ a و b ضلعَيْ مثلَّثٍ قائمِ الزاويةِ و c وترَه كما في **الشكل 4** (أ)، تُكتبُ نظريَّةُ فيثاغورس على الشكلِ التالي:

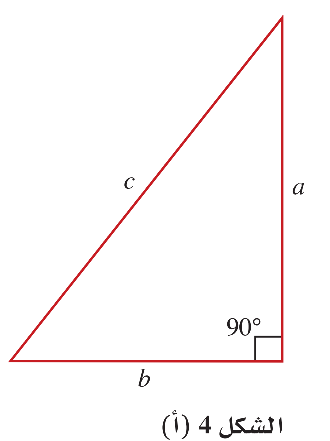
$$c^2 = a^2 + b^2$$

هذا يعني أن مربَّعَ الوترِ يساوي حاصلَ جمعِ مربَّعَيِ الضلعَيْنِ الباقيَيْنِ. تُستعملُ نظريَّةُ فيثاغورس لحسابِ ضلعٍ من أضلاعِ المثلَّثِ عند معرفةِ الضلعَيْنِ الباقيَيْنِ. مثلاً إذا كانَ: $c = 2.0$ m و $a = 1.0$ m، يمكنُك حسابُ b باستعمالِ نظريَّةِ فيثاغورس:

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} = \sqrt{(2.0 \text{ m})^2 - (1.0 \text{ m})^2}$$

$$b = \sqrt{4.0 \text{ m}^2 - 1.0 \text{ m}^2} = \sqrt{3.0 \text{ m}^2}$$

$$\boxed{b = 1.7 \text{ m}}$$



الشكل 4 (أ)

الدقةُ في الحساباتِ المختبريَّةِ

الخطأُ المطلَقُ

بعضُ التجاربِ الواردةِ في هذا الكتابِ، تتضمَّنُ طريقةً لحسابِ قيمةٍ معروفةٍ مسبقًا، كعجلةِ السقوطِ الحرِّ. في هذا النوعِ من التجاربِ تتحدَّدُ دقَّةُ قياساتِك من خلالِ المقارنةِ بين نتائجِكَ والقيمةِ المقبولةِ. ويعرَّفُ الخطأُ المطلقُ بالقيمةِ المطلقةِ للفرقِ بين النتيجةِ المختبريَّةِ والنتيجةِ المقبولةِ.

$$\text{الخطأُ المطلقُ} = \left|\text{القيمةَ المختبريَّةَ} - \text{القيمةِ المقبولةِ}\right|$$

تأكَّدْ من عدمِ الخلطِ بين مفهومَيِ الدقَّةِ والضبطِ. تُعرَّفُ دقَّةُ القياسِ بمدى قربِ القياسِ من القيمةِ المقبولةِ للكمّيَّةِ المقيسةِ. أما الضبطُ فيعتمدُ على أدواتِ القياسِ. ويكونُ للمسطرةِ المتريَّةِ المدرَّجةِ بالملّيمتراتِ، مثلاً، ضبطٌ أكثرُ من مسطرةٍ متريَّةٍ مدرَّجةٍ بالسنتيمتراتِ.
إذن فالقيمةُ $9.61\ m/s^2$ المقيسةُ لعجلةِ السقوطِ الحرِّ هي أكثرُ ضبطًا من القيمةِ $9.8\ m/s^2$، علمًا أن القيمةَ $9.8\ m/s^2$ هي أكثرُ دقَّةً من $9.61\ m/s^2$.

الخطأُ النسبيُّ

لاحظْ أن القياسَ الذي له، نسبيًّا، خطأٌ مطلقٌ كبيرٌ قد يكونُ أدقَّ من قياسٍ آخرَ خطؤُهُ المطلقُ أقلُّ، إذا تضمَّنَ القياسُ الأولُ كمّيّاتٍ كبيرةً جدًّا. لهذا السببِ يكونُ للخطأِ النسبيِّ أو الخطأِ المئويِّ أهمّيَّةٌ أكبرُ من الخطأِ المطلقِ. ويعرَّفُ الخطأُ النسبيُّ كما يلي:

$$\text{الخطأُ النسبيُّ} = \frac{\left|\text{القيمةَ المختبريَّةَ} - \text{القيمةِ المقبولةِ}\right|}{\text{القيمةِ المقبولةِ}}$$

ولأن الخطأَ النسبيَّ يراعي مقدارَ الكمِّيّةِ المقيسةِ، يمكنُ مقارنةُ دقَّةِ قياسَيْنِ مختلفَيْنِ من خلالِ المقارنةِ بين خطئَيْهما النسبيَّيْنِ.

الملحق (ب): الرموز

الرموزُ الرياضيَّةُ

الرمز	الدلالة	الرمز	الدلالة
Δ	(دلتا باليونانيَّةِ) تغيُّرُ كمِّيّةٍ ما	$\leq$	أصغرُ من أو يساوي (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين)
Σ	(سيغما باليونانيَّةِ) جمعُ كمِّيّاتٍ	$\propto$	تناسبيّ
θ	(ثيتا باليونانيَّةِ) زاويةٌ ما	$\approx$	تقريبًا يساوي
$=$	يساوي	$\lvert n \rvert$	مقدارُ القيمةِ المطلقةِ
$>$	أكبرُ من (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين)	sin	جيب
$\geq$	أكبرُ من أو يساوي (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين)	cos	جيبُ التمامِ
$<$	أصغرُ من (تقرأُ من اليسارِ إلى اليمين)	tan	ظلّ

رموزُ الكمِّيّاتِ المستعملةِ

يُرمزُ إلى الكمِّيّةِ المتَّجهةِ ذاتِ المقدارِ والاتِّجاهِ بحرفٍ يعلوهُ سهمٌ، أما الأحرفُ المائلةُ *italic* فترمزُ إلى كمِّيّاتٍ قياسيَّةٍ ذاتِ مقدارٍ فقط.

الرمز	الدلالة	الرمز	الدلالة
A	مساحة	M	كتلةٌ كلِّيّةٌ
D	قُطرُ الدائرةِ	R	نصفُ القطرِ
$\vec{F}$	قوة	t	زمن
F	مقدارُ القوةِ	V	حجم
m	كتلة		

رموزُ الميكانيكا الانتقاليةِ المستعملةُ في هذا الكتاب

الرموزُ التي يعلوها سهمٌ تمثلُ الكمياتِ المتجهةَ ذاتَ المقدارِ والاتجاه.
أما الرموزُ المائلةُ فتمثلُ الكمياتِ ذاتَ المقدارِ فقط، أو مقدارَ كمياتٍ متجهة. وباقي الرموزِ تمثِّلُ، عادةً، الوحدات.

الرمز	الكمية	
$\vec{a}$, a	التعجيل	acceleration
$\vec{\mathrm{d}}$, d	الإزاحة	displacement
$\vec{\mathrm{F}}\Delta t$	الدفع	impulse
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{g}}$, F_g	قوةُ الجاذبية (الوزن)	gravitational force (weight)
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{k}}$, F_k	قوةُ الاحتكاكِ الحركيّ	force of kinetic friction
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{n}}$, F_n	القوةُ المتعامدة	normal force
$\vec{\mathrm{F}}_{\text{المحصلة}}$, $F_{\text{المحصلة}}$	القوةُ المحصَّلة	net force
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{R}}$, F_R	قوةُ مقاومةِ الهواء	force of air resistance
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{s}}$, F_s	قوةُ الاحتكاكِ السكونيّ	force of static friction
$\vec{\mathrm{F}}_{\mathrm{s,max}}$, $F_{s,max}$	قوةُ الاحتكاكِ السكونيّ الأقصى	maximum force of static friction
h	الارتفاع	height
k	ثابتُ الزنبرك	spring constant
KE	الطاقةُ الحركيَّة	kinetic energy
$KE_{\text{انتقالية}}$	الطاقةُ الحركيَّةُ الانتقالية	translational kinetic energy
ME	الطاقةُ الميكانيكية	mechanical energy (sum of all kinetic and potential energies)
μ_k	معاملُ الاحتكاكِ الحركيّ	(Greek *mu*) coefficient of kinetic friction
μ_s	معاملُ الاحتكاكِ السكونيّ	(Greek *mu*) coefficient of static friction
P	القدرة	power
$\mathbf{p}$, p	الزخم	momentum
PE	الطاقةُ الكامنة	potential energy
PE_e	الطاقةُ الكامنةُ المرونية	elastic potential energy
PE_g	الطاقةُ الكامنةُ الجذبية	gravitational potential energy
r	المسافةُ الفاصلةُ بين كتلتَيْن	separation between point masses
$\vec{\mathrm{v}}$, v	السرعة	velocity or speed
W	الشغل	work
$W_{\text{احتكاك}}$	الشغلُ الناتجُ من قوةِ احتكاك	work done by a frictional force (or work required to overcome a frictional force)
$W_{\text{المحصلة}}$	محصِّلةُ الشغل	net work done
$\Delta\vec{\mathrm{x}}$, Δx	الإزاحةُ في اتِّجاهِ x	displacement in the x direction
$\Delta\vec{\mathrm{y}}$, Δy	الإزاحةُ في اتِّجاهِ y	displacement in the y direction

الرموزُ الكهربائيّةُ المستعملةُ في هذا الكتابِ

الرموزُ التي يعلوها سهمٌ تمثِّلُ الكمِّيّاتِ المتجِهةَ ذاتَ المقدارِ والاتِّجاهِ.
أما الرموزُ المائلةُ فتمثِّلُ الكمِّيّاتِ ذاتَ المقدارِ فقطْ، أو مقدارَ كمِّيّاتٍ متَّجهةٍ. باقي الرموزِ تمثِّلُ، عادةً، الوحدات.

الرمز	الكمّيَّة	
C	السعة	capacitance
d	البُعدُ بينَ لوحَيْ مكثِّفٍ	separation of plates in a capacitance
$\vec{E}$, E	المجالُ الكهربائيُّ	electric field
$\vec{F}_{\text{كهربائية}}$, $F_{\text{كهربائية}}$	القوَّةُ الكهربائيَّةُ	electric force
I	التيّارُ الكهربائيُّ	electric current
$PE_{\text{كهربائية}}$	الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ	electrical potential energy
Q	شحنةٌ كبيرةٌ أو الشحنةُ على مكثِّفٍ مشحونٍ بالكاملِ	large charge of charge on a fully charged capacitar
q	الشحنة	charge
R	المقاومة	resistance
r	المسافةُ بينَ شحنتَيْن	separation between charges
$R_{\text{مكافئة}}$	المقاومةُ المكافئةُ	equivalent resistance
V	الجهدُ الكهربائيُّ	electric potential
ΔV	فرقُ الجهدِ	potential difference

الملحق (ج)

الوحداتُ في النظامِ الدوليِّ SI

الرمز	الدلالة	الكمّيّة	الرمز	الدلالة	الكمّيّة
A	أمبير	تيّارٌ كهربائيٌّ	s	ثانية	زمن
K	كالفن	درجةُ الحرارةِ المطلقةُ	mol	المول	كمّيّةُ المادّةِ
kg	كيلوغرام	كتلة	cd	الكانديلا	شدةُ الإضاءةِ
m	متر	طول			

بعضُ بادئاتِ النظامِ الدوليِّ SI

البادئة	الرمز	العاملُ الأسيُّ	معناه	مثال
ميغا Mega	**M**	**10^6**	**1 000 000**	ميغامترٌ واحدٌ (Mm) = 1×10^6 متر
كيلو Kilo	**k**	**10^3**	**1 000**	كيلومترٌ واحدٌ (km) = 1×10^3 متر
سنتي Centi	**c**	**10^{-2}**	**1/100**	سنتيمترٌ واحدٌ (cm) = 1×10^{-2} متر
ملّي Milli	**m**	**10^{-3}**	**1/1000**	مليمترٌ واحدٌ (mm) = 1×10^{-3} متر
ميكرو Micro	**μ**	**10^{-6}**	**1/1 000 000**	ميكرومترٌ واحدٌ (μm) = 1×10^{-6} متر

قيمٌ تقريبيةٌ لمُعامِلِ الاحتكاك

	μ_s	μ_k
الفولاذُ على الفولاذ	0.74	0.57
الألمينيوم على الفولاذ	0.61	0.47
المطاطُ على الإسمنتِ الجاف	1.0	0.8
المطاطُ على الإسمنتِ الرطب	–	0.5
الخشبُ على الخشب	0.4	0.2
الزجاجُ على الزجاج	0.9	0.4
الخشبُ المشمَّعُ على الثلجِ الرطب	0.14	0.1
الخشبُ المشمَّعُ على الثلجِ الجافّ	–	0.04
المعدنُ على المعدن (مشحَّم)	0.15	0.06
الجليدُ على الجليد	0.1	0.03
التفلونُ على التفلون	0.04	0.04
عظامُ المفاصلِ عند الإنسان	0.01	0.003

وحداتٌ أُخرى مقبولةٌ مع نظامِ SI

الرمز	الاسم	الكمّيَّة	وحدةٌ مكافئةٌ
Bq	باكوريل	وتيرةُ الانحلالِ أو النشاطِ	$\frac{1}{s}$
C	كولومب	شحنةٌ كهربائيَّة	$1\ A \bullet s$
℃	درجةُ سلزيوس	درجةُ الحرارةِ	$1\ K$
F	فاراد	سعة	$1\frac{A^2 \bullet s^4}{kg \bullet m^2} = 1\frac{C}{V}$
h	ساعة	زمن	$3.600 \times 10^3\ s$
J	جول	طاقة	$1\frac{kg \bullet m^2}{s^2} = 1\ N \bullet m$
kW•h	كيلوواط–ساعة	طاقة	$3.60 \times 10^6\ J$
L	لتر	حجم	$10^{-3}\ m^3$
min	دقيقة	زمن	$6.0 \times 10^1\ s$
N	نيوتن	قوة	$1\frac{kg \bullet m}{s^2}$
Pa	باسكال	ضغط	$1\frac{kg}{m \bullet s^2} = 1\frac{N}{m^2}$
V	فولت	فرقُ جهدٍ كهربائيٍّ	$1\frac{kg \bullet m^2}{A \bullet s^3} = 1\frac{J}{C}$
W	واط	قدرة	$1\frac{kg \bullet m^2}{s^3} = 1\frac{J}{s}$
Ω	أوم	مقاومة	$1\frac{kg \bullet m^2}{A^2 \bullet s^3} = 1\frac{V}{A}$

الملحق (د): جداولُ مفيدة

كمّياتٌ ثابتةٌ أساسيّةٌ

الرمز	الكمية	القيمةُ الرسميَّةُ (الأساسيَّةُ)	القيمةُ المعتمدةُ في حساباتِ الكتابِ
c	سرعةُ الضوءِ في الفراغِ	299 792 458 m/s	3.00×10^{8} m/s
e^{-}	الشحنةُ الابتدائيَّةُ	$1.602\ 176\ 53 \times 10^{-19}$ C	1.60×10^{-19} C
e^{1}	قاعدةُ اللوغارتيمِ الطبيعيِّ	2.718 281 828	2.72
ε_o	ثابتُ العازليَّةِ في الفراغِ	$8.854\ 187\ 817 \times 10^{-12}$ $C^2/(N{\bullet}m^2)$	8.85×10^{-12} $C^2/(N{\bullet}m^2)$
G	ثابتُ الجذبيَّةِ العالميَّةِ	$6.672\ 59 \times 10^{-11}$ $N{\bullet}m^2/kg^2$	6.673×10^{-11} $N{\bullet}m^2/kg^2$
g	تعجيلُ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ	9.806 65 m/s^2	9.81 m/s^2
k_C	ثابتُ كولومب	$8.987\ 551\ 787 \times 10^{9}$ $N{\bullet}m^2/C^2$	8.99×10^{9} $N{\bullet}m^2/C^2$
π	نسبةُ محيطِ الدائرةِ إلى قطرِها	3.141 592 654	القيمةُ التي تعطيها الآلةُ الحاسبةُ

الملحق (هـ): المعادلات

الفصل 1: الحركةُ في بُعدٍ واحد

الإزاحة	$\Delta x = x_f - x_i$
السرعةُ المتوسّطة	$v_{\text{متوسطة}} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$
مقدارُ السرعةِ المتوسِّطة	مقدارُ السرعةِ المتوسِّطة = $\dfrac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن اللازم}}$
التعجيلُ المتوسّط	$a_{\text{متوسطة}} = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$
الإزاحة هاتان المعادلتان تختصّان بالحركة بتعجيل ثابت على خطّ مستقيم.	$\Delta x = \frac{1}{2}(v_i + v_f)\Delta t$ $\Delta x = v_i\ \Delta t + \frac{1}{2}a(\Delta t)^2$
السرعةُ النهائيَّة هاتان المعادلتان تختصّان بالحركة بتعجيل ثابت على خطّ مستقيم.	$v_f = v_i + a\Delta t$ $\Delta_y F^2 = v_i^2 + 2a\Delta x$

الفصل 2: الحركةُ في مستوٍ والمتَّجهات

نظرية فيثاغورس تصحُّ هذه المعادلة للمثلَّثات القائمة الزاوية فقط.	$c^2 = a^2 + b^2$
دوال الجيب والجيب التمام والظلّ هذه المعادلات تصحُّ فقط للمثلَّثات القائمة الزاوية.	الجيب = $\dfrac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}}$، الجيب التمام = $\dfrac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}}$، الظلّ = $\dfrac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}}$،
الحركةُ الشاقوليَّة لمقذوفٍ يسقطُ من السكون تكون مقاومةُ الهواءِ مهملة في هذه المعادلات، وتنطبقُ هذه المعادلات فقط عندما تكونُ السرعة الابتدائيَّة الشاقوليَّة صفرًا. عند سطح الأرض $a_y = -g = -9.81\text{m/s}^2$	$v_{y,f} = a_y\ \Delta t$ $v_{y,f}^2 = 2a_y\ \Delta t$ $v_{y,f}^2 = \frac{1}{2}a_y\ (\Delta t)^2$
الحركةُ الأفقيّةُ لمقذوف تفترضُ هاتان المعادلتان أنَّ مقاومةَ الهواء مهملة.	$v_x = v_{x,i} =$ ثابت $\Delta x = v_x\ \Delta t$
حركةُ المقذوفِ بزاوية تفترضُ هذه المعادلات إهمال مقاومةِ الهواء. عند سطح الأرض $a_y = -g = -9.81\ \text{m/s}^2$	$v_x = v_i\cos\theta =$ ثابت $\Delta x = (v_i\cos\theta)\Delta t$ $v_{y,f} = v_i\sin\theta + a_y\ \Delta t$ $v_{y,f}^2 = v_i^2\ (\sin\theta)^2 + 2a_y\ \Delta y$ $\Delta y = (v_i\sin\theta)\Delta t + \frac{1}{2}a_y\ (\Delta t)^2$
الحركةُ النسبيَّة	$\vec{V}_{ac} = \vec{V}_{ab} + \vec{V}_{bc}$

الفصل 3: قوانينُ نيوتن للحركة

القانونُ الأوَّل لنيوتن	يبقى الجسمُ في حالةِ السكون أو السيرِ بسرعةٍ ثابتة على خطٍّ مستقيمٍ ما لم تؤثِّرْ فيه محصّلة قوّة خارجيَّة.
القانونُ الثاني لنيوتن تمثِّلُ $\sum\vec{F}$ محصّلة القوى الخارجيَّة المؤثِّرة في الجسم.	$\sum\vec{F} = m\vec{a}$
القانونُ الثالث لنيوتن	إذا تفاعلَ جسمان، تكونُ القوَّة التي يؤثِّرُ بها الجسمُ الأوَّل في الجسم الثاني مساوية في المقدارِ ومعاكسة في الاتِّجاه للقوَّةِ التي يؤثِّرُ بها الجسم الثاني في الجسمِ الأوَّل.
الوزن عند سطح الأرض $a_y = -g = -9.81\text{m/s}^2$	$F_g = ma_g$
مُعامل الاحتكاكِ السكوني	$\mu_s = \dfrac{F_{s,max}}{F_n}$
مُعامل الاحتكاكِ الحركي يتغيَّرُ مُعامل الاحتكاك الحركيّ بتغيُّرِ السرعةِ إلاّ أننا لا نعتبر هذه التغيُّرات في الكتاب.	$\mu_k = \dfrac{F_k}{F_n}$
قوَّةُ الاحتكاك	$F_f = \mu F_n$

الفصل 4: الشغلُ والطاقةُ والقدرة

الشغلُ الكلّيّ تصحُّ هذه المعادلةُ في حالةِ القوى الثابتة فقط.	$W_{\text{الكلّيّ}} = F_{\text{الكلّيّة}}\, d \cos\theta$
الطاقةُ الحركيَّة	$KE = \frac{1}{2}mv^2$
علاقةُ الشغل - الطاقةُ الحركيَّة	$W_{\text{الكلّيّ}} = \Delta KE$
الطاقةُ الكامنةُ الجذبيَّة	$PE_g = mgh$
الطاقةُ الكامنةُ المرونيَّة	$PE_{\text{المرونيَّة}} = \frac{1}{2}kx^2$
الطاقةُ الميكانيكيَّة	$ME = KE + PE$
حفظُ الطاقةِ الميكانيكيَّة تصحُّ هذه المعادلةُ فقط في حالةِ إهمالِ أنواعِ الطاقةِ غيرِ الميكانيكيَّة كالاحتكاك مثلاً.	$ME_i = ME_f$
القدرة	$ME = \dfrac{W}{\Delta t} = Fv$

الفصل 5: الزخمُ الخطّيُّ والتصادمات

الزخمُ الخطّيّ	$\vec{p} = m\vec{v}$
نظريّةُ الزخم - الدفع تصحُّ هذه العلاقة في حالةِ القوَّةِ الثابتةِ فقط.	$\vec{F}\Delta t = \Delta\vec{p} = m\vec{v}_f - m\vec{v}_i$
قانونُ حفظ الزخم تصحُّ هاتان المعادلتان فقط للأنظمةِ المقفلة، حيث لا تؤثِّر قوى خارجية على النظامِ خلالَ عمليةِ التصادم. المعادلةُ الثانية تصحُّ للتصادمِ بين جسمَيْن.	$\vec{p}_i = \vec{p}_f$ $m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = m_1\vec{v}_{1,f} + m_2\vec{v}_{2,f}$
حفظُ الزخم الخطّيّ في حالةِ التصادمِ واللامرنِ تمامًا	$m_1\vec{v}_{1,i} + m_2\vec{v}_{2,i} = (m_1 + m_2)\vec{v}_f$
حفظ الطاقةِ الحركيَّةِ في التصادمات المرنة لا توجدُ هناك تصادماتٌ مرنةٌ بالكامل، فبعضُ الطاقةِ الحركيَّةِ يتحوَّلُ دائمًا إلى أشكالٍ أخرى من الطاقة. إلاّ أنَّ هذه المعادلة تعتبرُ تقريبيًا جيّدًا عندما تكونُ هذه التحوُّلاتِ أقلّ ما يمكن.	$\frac{1}{2}m_1v_{1,i}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2,i}^2 =$ $\frac{1}{2}m_1v_{1,f}^2 + \frac{1}{2}m_2v_{2,f}^2$

الفصل 6: القوى والمجالات الكهربائيّة

قانونُ كولومب تُطبَّقُ هذه المعادلةُ في حالةِ الشحناتِ النقطيَّة أو التوزيعات الكرويَّة.	$F_{\text{الكهربائيّة}} = k_C\left(\frac{q_1q_2}{r^2}\right)$
شدَّةُ المجالِ الكهربائيِّ الناتجِ عن شحنةٍ نقطيَّة	$E = k_C\frac{q}{r^2}$

الفصل 7: الطاقةُ الكهربائيّةُ والتيّارُ الكهربائيّ

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ تُقاس الإزاحةُ d بدءًا من نقطةٍ مرجع، وتكونُ موازيةً للمجالِ الكهربائيِّ. تكونُ هذهِ المعادلةُ صحيحةً في حالةِ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ فقط.	$PE_{\text{كهربائية}} = -qEd$
فرقُ الجهدِ الجزءُ الثاني من هذه المعادلةِ يصحُّ فقط في حالةِ المجالِ الكهربائيِّ المنتظمِ، وتكونُ Δd موازيةً للمجالِ.	$\Delta V = \frac{\Delta PE_{\text{كهربائية}}}{q} = -E\Delta d$
فرقُ الجُهدِ بينَ اللانهايةِ وشحنةٍ نقطيَّةٍ	$\Delta V = k_C \frac{q}{r}$
السعة	$C = \frac{Q}{\Delta V}$
سعةُ مكثِّفٍ متوازي الصفائحِ في الفراغ	$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$
الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّةُ المختزنةُ في مكثِّفٍ مشحونٍ هناك قيمةٌ قصوى للطاقةِ (أو للشحنة) التي يمكنُ تخزينُها في مكثِّفٍ وذلك بسببِ حدوثِ تفريغٍ كهربائيٍّ بينَ الصفيحتَيْن، عندَ فرقِ جُهدٍ مرتفعٍ جدًّا.	$PE_{\text{الكهربائية}} = \frac{1}{2}Q\Delta V = \frac{1}{2}C(\Delta V)^2 = \frac{Q^2}{2C}$
التيّارُ الكهربائيُّ	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
المقاومة	$R = \frac{\Delta V}{I}$
قانونُ أوم قانونُ أوم ليسَ قانونًا عالميًّا، إلا أنه يُطبَّقُ على موادَّ متعدِّدةٍ، وعلى نطاقٍ واسعٍ من فروقِ الجُهدِ.	$\frac{\Delta V}{I} = \text{ثابت}$
القدرةُ الكهربائيَّةُ	$P = I\Delta V = I^2R = \frac{(\Delta V)^2}{R}$

الفصل 8: الدوائرُ الكهربائيّةُ والمقاومات

المقاوماتُ على التوالي: **المقاومةُ المكافئةُ والتيّارُ**	$R_{\text{مكافئة}} = R_1 + R_2 + R_3 \ldots$ التيّارُ في كلِّ مقاومةٍ هو نفسُهُ ويساوي التيّارَ الكلّيَّ.
المقاوماتُ على التوازي: **المقاومةُ المكافئةُ والتيّارُ**	$\frac{1}{R_{\text{مكافئة}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \ldots$ التيّارُ الكلّيُّ يساوي حاصلَ جمعِ التيّاراتِ في المقاوماتِ المختلفةِ.

أجوبةٌ عن مسائلَ مختارة

الفصل 1

تطبيق 1 (أ)

1. 2.0 km إلى الشرق

3. 680 m إلى الشمال

5. 0.43 h

تطبيق 1 (ب)

1. 2.2 s

3. 5.4 s

5. أ. 1.4 m/s ب. 3.1 m/s

تطبيق 1 (ج)

1. 21 m

3. 9.1 s

تطبيق 1 (د)

1. 9.8 m/s، 29 m

3. –7.5 m/s، 19 m

تطبيق 1 (هـ)

1. +2.51 m/s

3. أ. 16 m/s ب. 7.0 s

5. $2.3\ m/s^2$

تطبيق 1 (و)

1. أ. –42 m/s ب. 11 s

3. أ. 8.0 m/s ب. 1.63 s

راجع وقيِّم

1. +5.0 m، 5.0 m

7. 10.0 km إلى الشرق

9. أ. +70.0 m ب. +140.0 m
ج. +14 m/s د. +28 m/s

11. 0.2 km غرب راية السباق

17. أ. $0.0\ m/s^2$ ب. $+1.4\ m/s^2$
ج. $+0.680\ m/s^2$

19. 110 m

21. أ. –15 m/s ب. –38 m

23. 17.5 m

25. 0.99 m/s

31. 3.94 s

33. 1.51 h

35. أ. 2.00 min ب. 1.00 min
ج. 2.00 min

37. 931 m

39. –26 m/s، 31 m

41. 1.6 s

43. 5 s، 85 s، +60 m/s

45. $+1.5 \times 10^3\ m/s^2$

47. أ. 3.40 s ب. –9.2 m/s
ج. –31.4 m/s، –33 m/s

الفصل 2

تطبيق 2 (أ)

1. أ. 23 km ب. 17 km إلى الشرق

3. 15.7 km بزاوية 22^o باتِّجاه طول الملعب

تطبيق 2 (ب)

1. 95 km/h

3. 21 m/s، 5.7 m/s

تطبيق 2 (ج)

1. 49 km بزاوية 7.3^o باتِّجاه طول الملعب

3. 13.0 m بزاوية 57^o شرق شمال

تطبيق 2 (د)

1. 0.66 m/s

3. 7.6 m/s

تطبيق 2 (هـ)

1. $\Delta y = -2.3$ m

3. 2.0 s، 4.8 m

تطبيق 2 (و)

1. 0 m/s
3. 3.90 m/s بزاوية 4.0×10^1 شمال شرق

راجع وقيِّم

9. 47.5 J
21. 2×10^1 m
25. 2.81 km شرقًا 1.31 km شمالاً
31. 45.1 m/s
33. 11 m
37. 80 m، 210 m
41. أ. 70 m/s شرقًا ب. 20 m/s
43. أ. 10.1 m/s بزاوية 8.53^o شمال شرق
ب. 48.8 m
45. 7.5 min
47. أ. 41.7 m/s ب. 3.81 s
ج. $v_{y,f} = -13.5$ m/s، $v_{x,f} = 34.2$ m/s، $v_f = 36.7$ m/s
49. 10.5 m/s
51. أ. 266 m/s ب. 0.64 m
53. 157 km
55. أ. 32.5 m ب. 1.78 s

الفصل 3

تطبيق 3 (أ)

1. $F_x = 60.6$ N، $F_y = 35.0$ N
3. 557 N بزاوية 35.7^o شرق شمال

تطبيق 3 (ب)

1. $2.2\ m/s^2$ إلى الأمام
3. $4.50\ m/s^2$ إلى الشرق

تطبيق 3 (ج)

1. 0.23
3. أ. 8.7×10^2 N، 6.7×10^2 N
ب. 1.1×10^3 N، 84 N
ج. 1×10^3 N، 5×10^2 N
د. 5 N، 2 N

تطبيق 3 (د)

1. $2.7\ m/s^2$ بالاتِّجاه الموجب لـ x

3. أ. 0.061 ب. $3.61\ m/s^2$

راجع وقيِّم

19. أ. صفر ب. صفر
21. 55 N إلى اليمين
29. 51 N
35. 0.70، 0.60
37. 0.816
39. $1.0\ m/s^2$
41. 13 N
43. 64 N إلى الأعلى
45. أ. $0.25\ m/s^2$ إلى الأمام
ب. 18 m
ج. 3.0 m/s
49. $-1.2\ m/s^2$، 0.12

الفصل 4

تطبيق 4 (أ)

1. 1.50×10^7 J
3. 1.6×10^3 J

تطبيق 4 (ب)

1. 1.7×10^2 m/s
5. 1.6×10^3 kg

تطبيق 4 (ج)

1. 7.8 m
3. 5.1 m

تطبيق 4 (د)

1. 3.3 J
3. أ. 785 J ب. 105 J
ج. 0.00 J

تطبيق 4 (هـ)

1. 20.7 m/s
3. 14.1 m/s
5. 0.18 m

تطبيق 4 (و)

.1 66 kW

.3 2.61×10^8 s (8.27 سنة)

.5 أ. 7.50×10^4 J ب. 2.50×10^4 W

راجع وقيِّم

.7 53 J، –53 J

.9 47.5 J

.19 7.6×10^4 J

.21 2.0×10^1 m

.23 أ. 5400 J، 0 J، 5400 J
ب. 0 J، –5400 J، 5400 J

.33 12.0 m/s

.35 17.2 s

.37 أ. 0.633 J ب. 0.633 J
ج. 2.43 m/s د. 0.422 J، 0.211 J

.39 5.0 m

.41 2.5 m

.45 أ. 61 J ب. –45 J
ج. 0 J

.47 أ. 28.0 m/s ب. 30.0 m فوق سطح الأرض

.49 0.107

.51 أ. 66 J ب. 23 m/s
ج. –16 J

الفصل 5

تطبيق 5 (أ)

.1 2.5×10^3 kg•m/s إلى اليمين

.3 46 m/s باتِّجاه الشرق

تطبيق 5 (ب)

.1 3.8×10^2 N إلى اليمين

.3 16 kg•m/s باتِّجاه الجنوب

تطبيق 5 (ج)

.1 5.33 s؛ 53.3 m إلى الغرب

.3 أ. 1.22×10^4 N إلى الشرق
ب. 53.3 m إلى الغرب

تطبيق 5 (د)

.1 1.90 m/s

.3 أ. 12.0 m/s
ب. 9.6 m/s

تطبيق 5 (هـ)

.1 3.8 m/s إلى الجنوب

.3 4.25 m/s إلى الشمال

.5 أ. 3.0 kg
ب. 5.32 m/s

تطبيق 5 (و)

.1 أ. 0.43 m/s إلى الغرب
ب. 17 J

.3 أ. 4.6 m/s باتِّجاه الجنوب
ب. 3.9×10^3 J

تطبيق 5 (ز)

.1 أ. 22.5 cm/s إلى اليمين
ب. $KE_i = 6.2 \times 10^{-4}$ J $= KE_f$

.3 أ. 8.0 m/s إلى اليمين
ب. $KE_i = 13 \times 10^2$ J $= KE_f$

راجع وقيِّم

.11 أ. 8.35×10^{-21} kg•m/s إلى الأعلى
ب. 4.88 kg•m/s إلى اليمين
ج. 7.50×10^2 kg•m/s باتِّجاه الجنوب الغربي
د. 1.78×10^{29} kg•m/s إلى الأمام

.13 18 N

.23 0.037 m/s باتِّجاه الجنوب

.29 3.00 m/s

.31 أ. 0.81 m/s باتِّجاه الشرق
ب. 1.4×10^3 J

.33 4.0 m/s

.35 42.0 m/s باتِّجاه الهدف

.37 أ. 0.00 kg•m/s
ب. 1.1 kg•m/s إلى الأعلى

.39 23 m/s

.41 4.0×10^2 N

.43 2.36×10^{-2} m

.45 0.413

.47 –22 cm/s، 22 cm/s

49. أ. 9.9 m/s إلى الأسفل
ب. 1.8×10^3 N إلى الأعلى

الفصل 6

تطبيق 6 (أ)

1. 230 N

3. 0.393 m

تطبيق 6 (ب)

1. 47 N بالاتِّجاه السالب للمحور x
157 N بالاتِّجاه الموجب للمحور x
11.0×10^1 N بالاتِّجاه السالب للمحور x

تطبيق 6 (ج)

1. $x = 0.64$ m

3. 5.07 m

تطبيق 6 (د)

1. 1.66×10^3 N/C بزاوية 81.1^o بالنسبة للمحور x

3. أ. 3.2×10^{-15} N بالاتِّجاه السالب للمحور x
ب. 3.2×10^{-15} N بالاتِّجاه الموجب للمحور x

راجع وقيِّم

3. 2.2×10^{13} إلكترون

15. 3.50×10^3 N

17. 91 N تنافر

19. 1.48×10^{-7} N بالاتِّجاه الموجب للمحور x

21. 18 cm بالنسبة للشحنة 3.5 nC

33. 5.7×10^3 N بزاوية 75^o بالنسبة للمحور الموجب x

35. أ. 5.7×10^{-27} N بالاتّجاه المعاكس للمجال الكهربائي
ب. 3.6×10^{-8} N/C

37. أ. 2.0×10^7 N/C بالاتّجاه الموجب للمحور x
ب. 4.0×10^1 N

41. 7.2×10^{-9} C

43. سرعة الإلكترون 4.4×10^6 m/s
سرعة البروتون 2.4×10^3 m/s

45. 5.4×10^{-14} N

47. 2.0×10^{-6} C

49. 32.5 m

51. أ. 5.3×10^{17} m/s^2
ب. 8.5×10^{-4} m
ج. 2.9×10^{14} m/s^2

53. أ. موجبة
ب. 5.3×10^{-7} C

الفصل 7

تطبيق 7 (أ)

1. 6.4×10^{-19} C

3. 2.3×10^{-16} J

تطبيق 7 (ب)

1. أ. 4.80×10^{-5} C
ب. 4.50×10^{-6} J

3. أ. 9.00 V
ب. 5.0×10^{-12} C

تطبيق 7 (ج)

1. 4.00×10^2 s

3. 6.00×10^2 s

5. أ. 2.6×10^{-3} A
ب. 1.6×10^{17} إلكترون
ج. 5.1×10^{-3} A

تطبيق 7 (د)

1. 0.43 A

3. أ. 2.5 A
ب. 6.1 A

5. 88 Ω

تطبيق 7 (هـ)

1. 46 Ω

3. 1.5 V

5. 5.00×10^2 A

راجع وقيِّم

9. -4.2×10^5 V

19. 1.8 J

31. صفر

33. أ. 2.1×10^2 s
ب. 1.2×10^{22} إلكترون

41. 3.4 A

49. 3.6×10^6 J

51. مصباح 75 W

53. 7.9×10^{13} J

55. 186 Ω

57. 3.000 m

59. 4.0×10^3 V/m

61. أ. 4.11×10^{-15} J
ب. 2.22×10^6 m/s

63. أ. 1.13×10^5 V/m
ب. 1.81×10^{-14} N
ج. 4.39×10^{-17} J

65. 0.545 m، −1.20 m

67. أ. 7.2×10^{-13} J
ب. 2.9×10^7 m/s

69. أ. 3.0×10^{-3} A
ب. 1.1×10^{18} إلكترون

71. أ. 32 V
ب. 0.16 A

73. 1.0×10^5 W

75. 3.2×10^5 J

77. 13.5 ساعة

79. 2.2×10^{-5} V

الفصل 8

تطبيق 8 (أ)

1. أ. 43.6 Ω
ب. 0.275 Ω

3. 1.0 V، 2.0 V، 2.5 V، 3.5 V

5. 0.5 Ω

تطبيق 8 (ب)

1. 4.5 A، 2.2 A، 1.8 A، 1.3 A

3. أ. 2.2 Ω
ب. 6.0 A، 3.0 A، 2.00 A

تطبيق 8 (ج)

1. أ. 27.8 Ω
ب. 26.6 Ω
ج. 23.4 Ω

راجع وقيِّم

17. أ. 24 Ω
ب. 1.0 A

19. أ. 2.99 Ω
ب. 4.0 A

23. 15 Ω

25. 5.4 V، 1.8 A : 3.0 Ω
6.5 V، 1.1 A : 6.0 Ω
6.5 V، 0.72 A : 9.0 Ω

27. 28 V

29. 3.8 V

31. أ. 33.0 Ω
ب. 132 V
ج. 4.00 A، 4.00 A

33. 10.0 Ω

37. 13.5 V، 0.75 A : 18.0 Ω
4.5 V، 0.75 A : 6.0 Ω

39. 4.0 Ω

41. 13.96 Ω

43. أ. 62.4 Ω
ب. 0.192 A
ج. 0.102 A
د. 0.520 W
هـ. 0.737 W

47. أ. 5.1 Ω
ب. 4.5 V

المفردات

أ

الإزاحة Displacement ص 5
أقصرُ مسافة متَّجهة من نقطةِ بدايةِ الحركةِ إلى نهايتها.

الاتزانُ Equilibrium ص 84
الحالةُ التي لا تتغيَّرُ فيها حركةُ الجسم.

الاحتكاكُ السكوني Static friction ص 90
قوّةُ الممانعةِ التي تقاومُ الحركةَ النسبيَّةَ المتوقَّعة بين سطحَيْن متلامسَيْن، كلّ منهما في حالةِ اتِّزانٍ بالنسبةِ للآخر.

الاحتكاكُ الحركي Kinetic friction ص 91
قوّةُ الممانعةِ التي تقاومُ الحركةَ النسبيَّةَ بين سطحَيْن متلامسَيْن، يتحرّك أحدُهما بالنسبةِ للآخر.

ت

التعجيل Acceleration ص 12
معدَّلُ تغيُّرِ السرعةِ خلالَ فترةٍ زمنيَّةٍ معيَّنة.

التصادمُ اللامرن تماماً
Perfectly inelastic collision ص 154
التصادمُ الذي يلتصقُ فيه الجسمان بعضهما ببعض ويتابعان حركتَيْهما بالسرعةِ نفسِها.

التصادمُ المرن Elastic collision ص 158
التصادمُ الذي تكونُ فيها كلٌّ من الزخمِ والطاقةِ الحركيَّةِ محفوظة.

ث

ثابت النابض Spring constant ص 116
المُعاملُ الذي يدلُّ على مدى مقاومةِ نابضٍ للانضغاطِ أو الاستطالة.

ج

الجول Joule ص 110
وحدةُ قياسِ الشغلِ والطاقةِ في النظامِ الدوليّ S.I.

الجُهدُ الكهربائيُّ Electric potential ص 208
الشغلُ الذي يجبُ بذلُه ضدَّ قوًى كهربائيَّةٍ لتحريكِ الشحنةِ من نقطةٍ مرجعٍ إلى نقطةٍ أخرى، مقسومًا على الشحنةِ.

ح

حركةُ المقذوف Projectile motion ص 55
سقوطٌ حرٌّ مع سرعةٍ ابتدائيَّةٍ غير رأسيَّة.

الحثّ Induction ص 178
عمليَّةُ شحنِ الموصِّل بوضعِه قرب جسمٍ آخر مشحون، ثمَّ وصلِه بالأرض.

خ

خطوطُ المجالِ الكهربائيّ
Electirc field lines ص 193
خطوطٌ تمثِّلُ مقدارَ واتِّجاهَ المجالِ الكهربائيِّ معًا، عند أيِّ نقطة.

د

الدفع Impulse ص 142
في حالةِ القوّةِ الخارجيَّة الثابتة، يعرَّفُ الدفعُ بأنَّه حاصلَ ضربِ القوّةِ في زمنِ تأثيرِها في الجسم.

الدائرةُ الكهربائيَّةُ Electric circuit ص 248
مجموعةٌ من المكوّناتِ الكهربائيَّةِ المتَّصلةِ بشكلٍ يوفِّرُ مسارًا كاملاً أو أكثر، لحركةِ الشحنات.

ر

الرسمُ التخطيطيُّ Schematic diagram ص 246
رسمٌ للدائرةِ التي تستعملُ خطوطًا لتمثيلِ الأسلاكِ، ورموزًا مختلفةً لتمثيلِ مكوِّناتٍ أُخرى للدائرةِ.

ز

الزخمُ الخطّيّ Linear momentum ص **140**
كمّيَّةٌ اتِّجاهيَّةٌ تساوي حاصل ضرب كتلةِ جسمٍ في سرعتِه.

س

السرعةُ المتوسِّطة Average velocity ص **7**
الإزاحةُ الكلّيَّةُ المقطوعةُ مقسومة على الفترةِ الزمنيَّةِ التي حدثَتَ فيها الإزاحة.

السرعةُ اللحظيَّة (الآنية)
Instantaneous velocity ص **10**
سرعةُ الجسمِ في لحظةٍ معيَّنة (عند نقطةٍ محدَّدةٍ في مسارِه).

السقوطُ الحرُّ Free fall ص **24**
حركةُ جسمٍ يسقطُ تحتَ تأثيرِ وزنه فقط، بمعنى إهمالِ مقاومةِ الهواءِ أو أي قوّى أخرى.

سعةُ المكثّف Capacitance ص **214**
قدرةُ المكثّفِ على تخزينِ الطاقةِ بشكلِ شحناتٍ كهربائيَّةٍ منفصلة.

سرعةُ الانجرافِ Drift velocity ص **223**
السرعةُ المحصِّلةُ لحاملِ شحنةٍ يتحرَّكُ تحتَ تأثيرِ مجالٍ كهربائيٍّ.

ش

الشغلُ Work ص **106**
كمّيَّةٌ عدديَّةٌ تساوي حاصلَ ضربِ مقدارِ مركبة القوى (في اتِّجاهِ الإزاحة) في الإزاحة.

شدَّةُ التيّارَ الكهربائيِّ Electric current ص **220**
المعدَّلُ الزمنيُّ الذي تمرُّ فيه شحناتٌ كهربائيَّةٌ خلالَ مساحةٍ معيَّنةٍ.

ط

الطاقةُ الحركيَّة Kinetic energy ص **110**
طاقةُ الجسمِ الناتجةِ عن حركتِه.

الطاقةُ الكامنة Potential energy ص **115**
الطاقةُ المقترنةُ بجسمٍ ما، جرّاء موضعه.

الطاقةُ الكامنةُ الجذبيَّة
Gravitaional potential energy ص **115**
الطاقةُ المقترنةُ بجسمٍ ما، جرّاء موضعه بالنسبةِ إلى الكرةِ الأرضيَّةِ أو لأيِّ جسمٍ جذبيٍّ آخر.

الطاقةُ الكامنةُ المرونيَّة
Elastic potential energy ص **116**
الطاقةُ الكامنةُ المختزنةُ في جسمٍ مرنٍ عندما يكونُ مضغوطًا أو مستطالاً.

الطاقةُ الميكانيكيَّة
Mechanical energy ص **120**
حاصلُ جمعِ الطاقةِ الحركيَّةِ وكلّ أشكالِ الطاقةِ الكامنة.

الطاقةُ الكامنةُ الكهربائيَّة
Electrical potential energy ص **206**
الطاقةُ التي تمتلكُها الشحنةُ بسببِ موقعها في المجالِ الكهربائيّ.

ع

علاقةُ الشغل-الطاقةُ الحركيَّة
Work-energy theorem ص **112**
إنَّ الشغلَ الكلّيَّ المبذولَ على جسمٍ معيَّنٍ يساوي التغيُّرَ في الطاقةِ الحركيَّةِ لهذا الجسم.

العازل Insulator ص **177**
المادَّةُ التي لا تنقلُ الشحنةُ بسهولة.

على التوالي Series ص **253**
تصفُ مكوِّنَيْن أو أكثر من دائرةٍ توفِّرُ مسارًا واحدًا للتيّار.

على التوازي Parallel ص **257**
تصفُ مكوِّنَيْن أو أكثر من دائرةٍ تزوِّدُها بمساراتٍ منفصلةٍ موصّلة للتيّار، لأنَّ المكوِّنات موصّلة بين نقطتَيْن مشتركتَيْن.

ف

فرقُ الجُهدِ Potential difference ص **208**
الشغلُ الذي يجبُ بذلُه ضدَّ قوًى كهربائيَّةٍ لتحريكِ الشحنةِ بين نقطتَيْن، مقسومًا على الشحنةِ.

ق

القوَّة Force ص **76**
هي التأثيرُ الذي يطبَّقُ على جسم، مسبِّبًا تغيُّرَ حالته السكونية أو الحركية.

قوَّةُ التماس Contact force ص **77**
القوَّةُ الناتجةُ من تماس مباشرٍ بين جسَيْن.

القوَّةُ المجاليَّة Field force ص **77**
القوَّةُ التي توجدُ بين جسمَيْن حتّى في غيابِ أيِّ تماس مباشرٍ بينهما.

القصورُ الذاتيّ Inertia ص **80**
ميلُ الجسم إلى الحفاظِ على حالتِه الحركيَّة.

قوَّتا الفعلِ وردُّ الفعل
Action and reaction ص **87**
قوّتان متزامنتان متساويتان في المقدارِ ومتعاكستان في الاتِّجاهِ ناتجتان من تفاعلٍ بين جسمَيْن.

القوَّةُ العمودية Normal force ص **89**
القوَّةُ التي يؤثِّرُ بها جسمٌ في آخر في الاتِّجاهِ العموديِّ على سطحِ التماس المشتركِ بينهما.

القدرة Power ص **125**
الشغلُ المبذولُ خلالَ وحدةِ الزمن.

ك

الكمِّيَّةُ الاتِّجاهيَّة Vector quantity ص **40**
الكمِّيَّةُ التي لها مقدارٌ واتِّجاه.

الكمِّيَّةُ العدديَّة Scalar quantity ص **40**
الكمِّيَّةُ التي لها مقدارٌ وليس لها اتِّجاه.

م

المحاورُ المرجعيَّة Frame of reference ص **4**
محاورُ إحداثيّات تحدِّدُ بدقَّةٍ موقعَ الأجسام في الفضاء.

ميلُ المستقيم Slope ص **9**
مقدارُ انحناءِ الخطِّ المستقيم بالنسبةِ إلى المحور الأفقيِّ في الإحداثيّات.

المحصّلةُ Resultant ص **41**
متَّجهٌ يمثِّلُ حاصلَ جمعِ متَّجهَيْن أو أكثر.

مركّباتُ المتَّجه Components of vector ص **48**
إسقاطاتُ المتَّجهِ على محاورِ نظام إحداثيّات معيَّن.

مخطَّطُ القوى Force diagram ص **77**
مخطَّطٌ للأجسامِ في موقفٍ معيَّن، وللقوى المؤثِّرةِ فيها.

محصِّلةُ القوى Net force ص **81**
القوَّةُ المنفردةُ التي يعادلُ تأثيرها تأثير جميع القوى الخارجيةِ المؤثِّرةِ في جسمٍ صلد.

مُعاملُ الاحتكاك Coefficient of friction ص **91**
نسبةُ مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ إلى مقدارِ القوَّةِ العموديةِ بين سطحَيْن.

الموصِّل Conductor ص **177**
المادَّةُ التي تنقلُ الشحنة بسهولة.

المجالُ الكهربائيّ Electric field ص **189**
منطقةٌ في الفضاءِ تحيطُ بجسمٍ مشحونٍ تظهرُ فيها آثارُ القوَّةِ الكهروستاتيكيَّة.

المقاومةُ الكهربائيَّة Resistance ص **224**
مقاومةُ مادَّةٍ معيَّنةٍ لمرورِ التيّارِ الكهربائيّ.

و

الوزن Weight ص **89**
قوَّةُ الجاذبيَّةِ التي تؤثِّرُ في الجسم.